

Hanne Cojoc

Punasoluvalmisteiden lämpötilaseuranta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Hyvinvointiteknologia

Insinöörityö

24.11.2015

Tekijä(t) Otsikko	Hanne Cojoc Punasoluvalmisteiden lämpötilaseuranta
Sivumäärä Aika	45 sivua 24.11.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Hyvinvointiteknologia
Suuntautumisvaihtoehto	Hyvinvointiteknologia
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Mikael Soini, Metropolia Ammattikorkeakoulu Yliopettaja Riitta Lumme, Metropolia Ammattikorkeakoulu Osastonhoitaja Ulla Peltola, HUSLAB Prosessikehityksen asiantutija Ville Ristimäki, Veripalvelu
<p>Opinnäytetyön aiheena oli punasoluvalmisteiden lämpötilaseuranta. Työssä tutustutaan vereen, verensiirtoihin, punasoluvalmisteisiin sekä punasoluvalmisteiden lämpötilaseurantaan säilytyksen ja kuljetuksen aikana. Työ toteutettiin yhteistyössä HUSLABin ja Suomen Punaisen Ristin Veripalvelun kanssa.</p> <p>Työn tavoitteena oli laatia HUSLAB-ohjeistus Helsingin kolmelle kotisairaallalle verensiirtovalmisteiden tilaamista ja käsittelyä varten. Ennen ohjeistuksen laatimista tutustuttiin HUSLABin Meilahden verikeskuksen toimintaan ja seurattiin fyysisesti mukana verikeskuksesta kotisairaaloihin lähteviä verivalmistekuljetuksia. Kuljetusten havainnoinnin pohjalta HUSLABille raportoitin valmisteiden kuljetusten ja käsittelyn senhetkinen tila sekä kehitystarpeet uutta ohjeistusta ajatellen. Veripalvelussa tehtiin tutkimuksia, joissa punasoluvalmisteita altistettiin erilaisille ulkoisille lämpötiloille ja seurattiin niiden lämpenemistä ja viilenumist. Veripalvelussa tehdyissä tutkimuksissa testattiin myös pakkausmenetelmien toimivuutta helle- ja pakkasolosuhteissa.</p> <p>Työn teoriaosuus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena ja käytännön osuus kokeina Veripalvelussa sekä prosessikehityksenä HUSLABille. Teoriaosuudessa tutustuttiin punasoluvalmisteille kansainvälisesti määriteltyihin säilytysvaatimuksiin, kuljetuksenaikaisiin pakkausmenetelmiin sekä erilaisiin käytössä oleviin lämpötilaseurantateknologioihin. Teoriatietoja voitiin hyödyntää fyysistä seurantaa arvioitaessa.</p> <p>Käytännön tutkimusosuuden perusteella HUSLABin nykyiset kuljetusmenetelmät ovat riittävät turvaamaan verivalmisteiden oikeat kuljetuslämpötilat. Verivalmisteiden käsittely kotisairaaloissa vaihteli. Osassa kotisairaaloista oli tarvetta tarkistaa käsittelytapoja. Opinnäytetyön tuloksena laadittu uusi ohjeistus korostaa oikeita toimintatapoja ja yhtenäistää valmisteiden käsittelymenetelmiä kotisairaaloissa.</p>	
Avainsanat	Logistiikka, lämpötilaseuranta, punasoluvalmisteet, veri

Author(s) Title	Hanne Cojoc Temperature Monitoring of Red Blood Cell Products
Number of Pages Date	45 pages 24 November 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Health Informatics
Specialisation option	Health Informatics
Instructor(s)	Mikael Soini, Principal Lecturer, Metropolia University of Applied Sciences Riitta Lumme, Principal Lecturer, Metropolia University of Applied Sciences Ulla Peltola, Ward Manager, HUSLAB Ville Ristimäki, Process Development Specialist, Blood Services
<p>The subject of this thesis was temperature monitoring of red blood cell products. The thesis focuses on blood, blood transfusions, red blood cell products and their temperature monitoring during storage and transport. The thesis was carried out in cooperation with HUSLAB and The Finnish Red Cross Blood Services.</p> <p>The objective of the thesis was to compose HUSLAB instructions for the ordering and handling of blood transfusion products for three home hospitals in Helsinki. The operation of HUSLAB blood center and blood transports to home hospitals were followed before the composition of the instructions. Based on the observations, a report was made for HUSLAB about the state of blood product transports and handling. The report also included development needs to take into account when composing the new instructions. At the premises of Red Cross Blood Services, red blood cell products were predisposed to different external temperatures and their heating up and cooling down was monitored. The research also evaluated how well the blood product packaging endured heat and frost.</p> <p>The theoretical part of this thesis was carried out as a literature research and the practical part as tests in the Blood Services and as a process development for HUSLAB. In the theoretical part, internationally defined storage requirements, packaging procedures and different temperature monitoring technologies were studied. The procedures witnessed during the observation could then be evaluated based on the theory.</p> <p>The findings show that the HUSLAB transport methods of blood products are adequate to guarantee safe transport temperatures for blood. The handling of blood products in the home hospitals varied. In some of the home hospitals, there was a need for reviewing the handling process. The new HUSLAB instructions composed based on the results of this thesis highlight the proper procedures and unify the handling process in the home hospitals.</p>	
Keywords	Blood, logistics, red blood cell products, temperature monitoring

Sisälllys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Veri	2
2.1	Punasolut	4
2.2	Hemoglobiini	4
2.3	Veriryhmät	6
2.3.1	ABO-veriryhmäjärjestelmä	6
2.3.2	Rh-veriryhmäjärjestelmä	8
2.3.3	Muut veriryhmäjärjestelmät	9
3	Verensiirrot	11
3.1	Verensiirron merkitys terveydenhoidossa	11
3.2	Veripalvelu	11
3.3	Verikeskus	12
3.4	Hoitavan yksikön valmistautuminen verensiirtoon	13
3.5	Valmisteiden kuljetus	14
3.6	Valmisteiden säilytys ja käsittely ennen siirtoa potilaaseen	16
4	Punasoluvalmisteet	17
4.1	Punasoluvalmisteiden valmistus	19
4.2	Lämpötilan vaikutus punasoluihin	20
5	Punasoluvalmisteiden lämpötilaseurantatekniikat	21
5.1	Nykyiset menetelmät	21
5.1.1	Veripalvelun verivalmisteiden kuljetuksissa käyttämä teknologia	21
5.1.2	HUSLABin verivalmisteiden kuljetuksissa käyttämä teknologia	22
5.2	Tulevaisuus ja kehitys	23
6	Opinnäytetyön tarkoitus ja tutkimusongelmat	27
7	Opinnäytetyön toteutus ja tulokset	28
7.1	Verivalmistekuljetusten ja -säilytyksen havainnointi	28

7.1.1	Verivalmisteen pakkaaminen Meilahdessa ja kuljetus kotisairaaloihin	
	28	
7.1.2	Vastaanotto ja säilytys kotisairaaloissa	30
7.2	Tutkimus Veripalvelussa	32
7.2.1	Mittaaminen huoneenlämmössä	32
7.2.2	Mittaaminen lämpimissä olosuhteissa	34
7.2.3	Mittaaminen pakkasolosuhteissa	36
8	Johtopäätökset	38
9	Yhteenveto	40
	Lähteet	42

Lyhenteet

3G	Third Generation. Kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologiat.
ATP	Adenosiinitrifosfaatti. Yhdiste solujen energian siirtoon ja varastointiin.
DNA	Deoksiribonukleiinihappo. Nukleiinihappo, joka sisältää elion solujen perintömateriaalin.
EDI	Electronic Data Integrator. Elektroninen hybridi-instrumentti, joka voidaan ohjelmoida elektronisen lämpötilainstrumentin tavoin, mutta jolla on elektronisen dataloggerimonitorin (EDML) kaltaiset raportointiominaisuudet.
EDLM	Electronic Data Logging Monitor. Pieni kannettava laite, joka mittaa ja tallentaa lämpötila-arvoja ennalta asetetuin aikavälein elektronisen anturin avulla.
GPRS	General Packet Radio Service. GSM-verkossa toimiva tiedonsiirtopalvelu.
GSM	Global System for Mobile Communications. Maailmanlaajuinen matkapuhelinjärjestelmä.
Hb	Hemoglobiini. Veressä happea sitova rautapitoinen proteiini.
HUS	Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri.
HUSLAB	Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin laboratoriot.
IgA	Immunoglobuliini A. Elimistössä esiintyvä vasta-aine.
LAN	Local Area Network. Rajoitetulla maantieteellisellä alueella toimiva matkapuhelinverkko.
µl	Mikrolitra. $1\mu\text{l} = 1\text{ mm}^3 = 10^{-6}$ litraa.
µm	Mikrometri. $1\mu\text{m} = 10^{-6}$ metriä.

NFC	Near Field Communication. Laitteiden tunnistamiseen ja tiedonsiirtoon lyhyellä etäisyydellä käytettävä tekniikka.
NTC	Negative Temperature Coefficient. Termistori, jonka vastuksen lämpötilakerroin on negatiivinen.
PDF	Portable Document Format. Siirrettävä ja ohjelmistoriippumaton tiedostomuoto.
RCF	Relative Centrifugal Force. Sentrifugaalivoima
RFID	Radio Frequency Identification Device. Radiotaajuinen etätunnistus tiedon etäluvuun ja tallentamiseen.
Rh ⁻	Rhesus-negatiivinen veriryhmä.
Rh ⁺	Rhesus-positiivinen veriryhmä.
RPM	Rounds per minute. Kierrosnopeus minuutissa.
SIM	Subscriber Identity Module. Matkapuhelimen älykortti, jolla voidaan tunnistaa matkapuhelinliittymän tilaaja.
SMS	Short Message Service. Matkapuhelinten tekstiviestipalvelu.
WHO	World Health Organization. Maailman terveysjärjestö.

1 Johdanto

Maailmassa tehdään vuosittain 83 miljoonaa verenluovutusta. Yksi luovutettu veriyksikkö voi pelastaa usean potilaan hengen [1]. Veri kerätään ruumiinlämpöisenä, eli sen lämpötila on noin +37 °C. Käsittelyyn saakka kokoveri säilytetään huoneenlämmössä, jotta kaikkien veren eri osien elintärkeät ominaisuudet säilyisivät. Veren osien erottelu tulisi optimaalisesti tapahtua kokoveren lämpötilan ollessa noin +20 °C. Erottelun jälkeen punasoluvalmisteiden varastointilämpötila on noin +4 °C. Jos kokoverta tai punasoluja kuljetetaan tai säilytetään näiden lämpötilojen ulkopuolella, veri menettää kykynsä kuljettaa happea ja hiilidioksidia. Liian korkea lämpötila altistaa veren bakteerien lisääntymiselle. Liian kylmä lämpötila taas voi aiheuttaa punasolujen solukalvon repeämisen ja solun hajoamisen, jolloin verensiirto voi olla hengenvaarallinen. [2.]

Tässä opinnäytetyössä perehdytään vereen, verensiirtoihin, verensiirroissa käytettäviin punasoluvalmisteisiin, niiden kuljetukseen ja säilytykseen, erilaisiin lämpötilaseurantatekniikoihin sekä kuljetus- ja säilytyslämpötilan vaikutukseen punasoluvalmisteiden laatuun. Verivalmisteille kansainvälisten tutkimusten pohjalta määritettyjen lämpötilarajojen noudattaminen varmistaa valmisteiden säilyvyyden, mikä takaa omalta osaltaan verensiirron laadun ja potilasturvallisuuden. Opinnäytetyössä tutkitaan myös punasoluvalmisteiden reagointia erilaisiin ulkoisiin lämpötiloihin: huoneenlämpöön, helteeseen ja kovaan pakkaseen.

Opinnäytetyön tilaaja oli HUSLAB, Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin laboratoriopalveluita tarjoava liikelaitos, jolla on useita toimipisteitä pääkaupunkiseudulla ja Uudellamaalla. HUSLABiin kuuluu myös Meilahden sairaalan verikeskus, josta toimitetaan verivalmisteita eri puolilla Helsinkiä sijaitseviin sairaaloihin ja muihin verivalmisteita tarvitseviin toimipisteisiin. Opinnäytetyössä oli mukana myös Veripalvelu, jonka tiloissa testattiin erilaisten ulkoisten lämpötilojen vaikutusta punasoluvalmisteisiin.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli seurata Meilahden sairaalan verikeskuksesta Herttoniemen, Laakson ja Malmin kotisairaaloihin lähteviä punasoluvalmistekuljetuksia ja kotisairaaloiden valmisteiden käsittelyä ennen niiden siirtoa potilaaseen. Näin saatiin selville senhetkiset menetelmät verivalmisteiden kuljetusten ja käsittelyn eri vaiheissa. Seuran-

nan pohjalta raportoitiin valmisteiden logistiikkaketjun nykytilanne, sekä laadittiin kotisairaaloille yhtenäinen ohjeistus punasoluvalmisteiden tilaamista, säilytystä ja käsittelyä varten.

HUSLABin pyynnöstä laaditun ohjeistuksen tavoite oli selkeyttää kotisairaaloille verensiirtovalmisteiden käsittelyketjua valmisteiden tilaamisesta aina potilaaseen siirtoon saakka. Ohjeistuksella haluttiin yhtenäistää kotisairaaloiden verensiirtoihin liittyviä toimintatapoja ja varmistaa oikeaoppiset toimintatavat, mikä edistää valmisteiden säilyvyyttä sekä potilasturvallisuutta verensiirtojen suhteen.

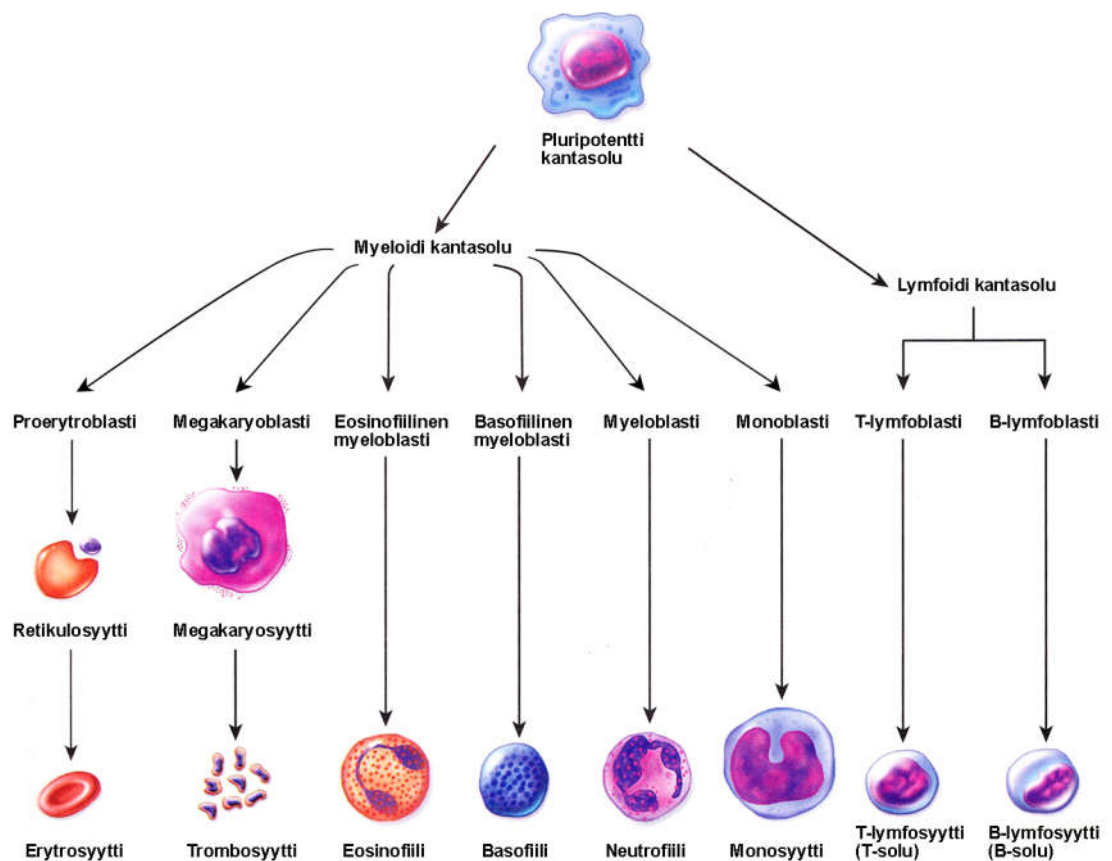
2 Veri

Veri on osa elimistön tukikudosta, ja sen tehtävänä on kuljettaa ravinteita ja happea elimistön eri osiin, suojata elimistöä sekä ylläpitää homeostaasia eli tasapainoa. Veri koostuu plasmasta ja soluista sekä solunosasista. Plasma on noin 91,5 % vettä ja 8,5 % liuenneita aineita, pääasiassa valkuaisaineita eli proteiineja. Soluihin kuuluvat puna- ja valkosolut, solunosasia ovat verihiutaleet eli trombosyytit. Punasolujen eli erytrosyyttien ja trombosyyttien määrä veressä on yleensä tasainen, mutta valkosolujen määrä riippuu elimistöön tunkeutuneista patogeeneistä tai muista antigeeneistä. [3.]

Veren solujen muodostumisprosessia kutsutaan hematopoieesiksi (Kreikan *haima* – veri, *poiein* – tehdä, valmistaa). Hematopoieesi on esitetty kuvassa 1. Kolme kuukautta ennen ihmisen syntymää hematopoieesi alkaa tapahtua ensisijaisesti punaisessa luuytimessä ja jatkuu siellä koko eliniän. Punaista luuydintä esiintyy etenkin olkavarren, lantion ja reiden luissa. Noin 0,05 % - 0,1 % punaisesta luuytimestä koostuu pluripotentteistä kantasoluista, jotka voivat kehittyä erilaisiksi soluiksi. Pluripotenttisuus tarkoittaa, että kantasolusta voi kehittyä mitä kudosta hyvänsä, paitsi istukan tai sikiökalvojen kudoksia [4]. Vastasyntyneen kaikki luuydin on punaista ja aktiivista veren tuotannossa. Ihmisen aikuistuessaa veren solujen tuotanto vähenee, ja pitkien luiden punainen luuydin inaktivoituu muuttuen keltaiseksi luuytimeksi, joka muodostuu pääasiassa rasvasoluista. Merkittävässä verenvuototilanteessa punainen luuydin ja pluripotentit kantasolut voivat kuitenkin levittäytyä keltaiseen luuytimeen edistämien uusien veren solujen muodostumista. [3.]

Punaisen luuytimen pluripotentit kantasolut tuottavat kahta erilaista kantasolutyyppiä: myeloideja kantasoluja ja lymfoideja kantasoluja. Myeloideista kantasoluista muodostuu punasolujen lisäksi erilaisia valkosoluja eli leukosyyttejä: monosyyttejä, neutrofiilejä, eosinofiilejä ja basofiilejä. Lymfoidit kantasolut alkavat kehittyä punaisessa luuytimessä, mutta kypsyvät loppuun lymfaattisessa järjestelmässä muodostaen lymfosyyttejä, jotka ovat leukosyyttejä. [3.]

Trombosyytit ovat megakaryosyyttien sytoplasmasta eli solulimasta kuroutuneita solukalvon ympäröimiä pieniä solunosasia. Megakaryosyytti on luuytimen jättisolu, josta voi muodostua jopa 6000 trombosyyttiä. Trombosyytit ovat tärkeitä veren hyytymistapahtumissa, esimerkiksi verenvuodon tyrehtyttämisessä haavassa. [3; 5, s. 303-320.]



Kuva 1. Hematopoieesi eli veren solujen muodostuminen. [3, s. 671.]

2.1 Punasolut

Punasolut eli erytrosyytit ovat muodoltaan kuperia ja levymäisiä ja kooltaan noin 7 - 8 mikrometriä ($\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$). Terveellä aikuisella miehellä on noin 5,4 miljoonaa ja naisella 4,8 miljoonaa punasolua mikrolitrassa ($1 \mu\text{l} = 1 \text{ mm}^3 = 10^{-6} \text{ litraa}$) verta. Veripisaran tilavuus on noin 50 μl . Jotta punasolujen määrä pysyisi elimistössä tasaisena, joka sekunti pitää noin 2 miljoonaa uutta, kypsää punasolua liittyä verenkiertoon. [3.]

Punasolujen muodostumista kutsutaan erythropoiesiksi (Latinan *eruthros* – punainen, kreikan *poiein* – tehdä, valmistaa). Se alkaa punaisessa luuytimessä proerytroblasteista, esisoluista, jotka jakautuvat useita kertoja tuottaen soluja, jotka voivat syntetisoida hemoglobiinia. Jakautumisvaiheen lopussa solu työntää tumansa ulos ja muuttuu retikulo-syytiksi, joka kulkeutuu punaisesta luuytimestä verenkiertoon sinusoidien kautta. Sinusoidi on laajentunut punaisen luuytimen soluja ja säikeitä ympäröivä hiussuoni. Retikulo-syytit kehittyvät kypsiksi erytrosyyteiksi parin päivän kuluessa luuytimestä vapautumisestaan. [3.]

Punasolut ovat yksinkertaisia, tumattomia ja jakautumattomia soluja, ja niitä ympäröivä plasmakalvo on vahva ja joustava, mikä edesauttaa punasolujen kulkemista kapeissakin kapillaarisuonissa. Punasolujen kuperan pinnan vuoksi niiden pinta-ala on suuri, jolloin kaasumolekyyleillä on enemmän tilaa diffusoitua solusta ulos ja solun sisään. Diffuusio on molekyylien siirtymistä väkevämmästä liuksesta laimeampaan. [3.]

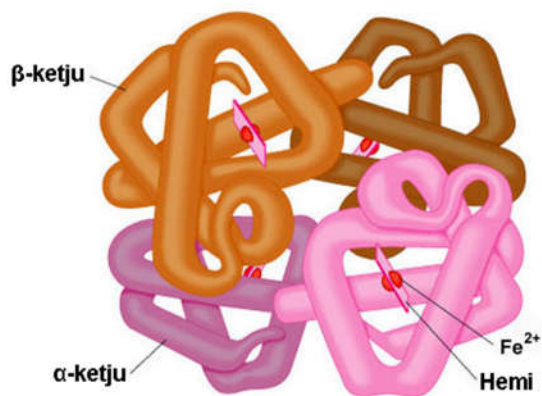
Punasolujen elinikä on vain noin 120 vuorokautta johtuen niiden kalvon kulumisesta verenkierron kiertossa. Koska punasoluilla ei ole soluelimiä, ne eivät voi korjata itse itseään. Fagotsyyttiset eli soluja syövät makrofagi-leukosyytit poistavat repeytyneet punasolut verenkierrosta ja tuhoavat ne maksassa ja pernassa. [3.]

2.2 Hemoglobiini

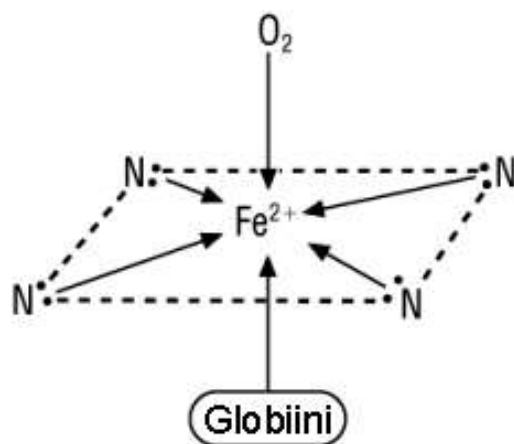
Jokaisessa punasolussa on noin 280 miljoonaa hemoglobiinimolekyyliä. Hemoglobiinimolekyyli on esitetty kuvassa 2. Normaalkokoisella ihmisellä on lähes kilogramma hemoglobiinia elimistössään. Verenkierron vapaa hemoglobiini katabolisoituu eli hajoaa munuaisten kautta muutamassa minuutissa, joten on olennaisen tärkeää, että hemoglobiini on pakattuna punasoluihin. [3.]

Punasolujen solunesteessä eli sytosolissa on hemoglobiinimolekyyliä noin 32 - 35 grammaa 100 millilitraa kohden. Punasolujen tärkeä tehtävä onkin kuljettaa hemoglobiinia ja happea elimistön soluille. 98 % veren hapesta on sitoutunut hemoglobiiniin. Punasolut kykenevät tuottamaan käyttöönsä ATP:tä eli adenosinitrifosfaattia anaerobisesti, joten ne eivät myöskään käytä kuljettamaansa happea itse. ATP on yhdiste solun energian siirtoon ja varastointiin. [3; 5; 6.]

Hemoglobiini muodostuu globiini-proteiinista ja rautapitoisesta hemi-punapigmentistä. Se antaaakin kokoverelle sen punaisen värin. Hemi-renkaan keskellä on rautaioni (Fe^{2+}), johon yksi happiatomi voi sitoutua. Tämä on esitetty kuvassa 3. Keuhkoissa jokainen happimolekyyli sitoutuu rauta-ioniin, ja veren kiertäessä elimistössä happi-rauta-reaktio purkautuu. Hemoglobiini vapauttaa happea, joka ensin diffusoituu solujen väliseen nesteeseen ja sitten soluihin. [3.]



Kuva 2. Hemoglobiinimolekyyli. [7.]



Kuva 3. Happiatomin sitoutuminen hemi-renkaan keskellä sijaitsevaan rauta-ioniin. [8.]

Hapen lisäksi hemoglobiini kuljettaa 23 % elimistön metabolian synnyttämästä hiilidioksidista, joka yhdistyy hemoglobiinin globiinin aminohappoihin ja vapautuu keuhkoissa ja lopulta uloshengityksessä elimistöstä ulos. [3.]

Kaasujenkuljetuksen lisäksi hemoglobiini auttaa verenkierron ja verenpaineen säätelyssä. Verisuonten sisäpintaa peittävät endoteelisolut tuottavat typpioksidia, kaasumaista yhdistettä, joka sitoutuu hemoglobiiniin. Joissain tilanteissa hemoglobiini vapauttaa typpioksidia, joka aiheuttaa vasodilaation eli verisuonen laajenemisen, minkä avulla veri pääsee kiertämään helpommin. [3.]

2.3 Veriryhmät

Erytrosyyttien pinnalla on geneettisesti määrättyjä antigeenejä, jotka muodostuvat glykoproteiineista, glykolipideistä ja proteiineista. Ne toimittavat erytrosyytille tärkeitä fysiologisia tehtäviä, kuten solun sisäisen ja ulkoisen tilan välisiä kuljetuksia. Näiden antigeenien, tarkemmin agglutinogeenien, perusteella veri jaetaan myös eri veriryhmiin. Agglutinaatio viittaa solujen yhteen liimautumiseen, joka on mahdollinen reaktio sopimatonta veriryhmää siirrettäessä. Veriryhmiä on olemassa ainakin 24 ja antigeenejä yli 100, mutta yleisimmin käytössä ovat ABO- ja Rh-ryhmittelyt. Samaan veriryhmäjärjestelmään luetaan ne antigeenit, joita määräävät geenit ovat alleelisia eli saman geenin eri muotoja, kuten ABO-järjestelmän A, B ja O, sekä antigeenit, jotka periytyvät toisiinsa kytkeytyneinä kuten Rh-järjestelmän D. [3; 9.]

2.3.1 ABO-veriryhmäjärjestelmä

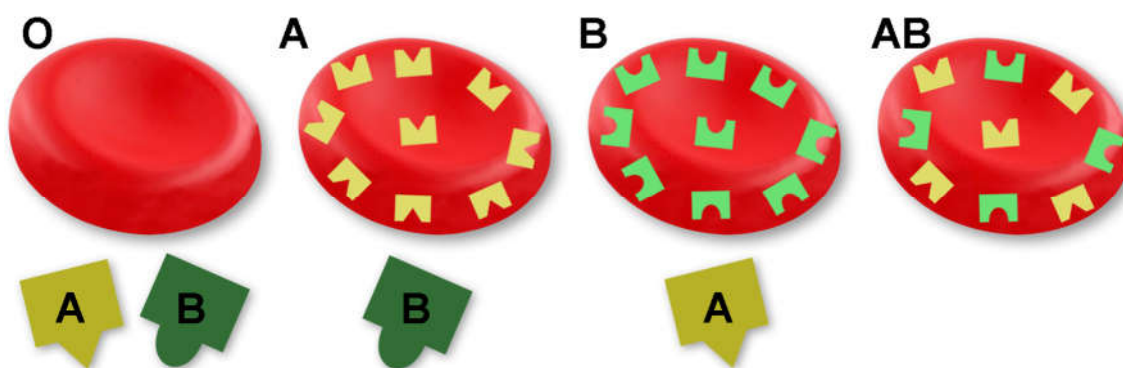
ABO-veriryhmäjärjestelmän keksi itävaltalainen Karl Landsteiner vuonna 1900. Hän sekoitti kollegoidensa seerumia ja punasoluja ja huomasi agglutinoitumista. Tämän perusteella hän nimesi ensimmäiset veriryhmät A ja B, aakkosten ensimmäisten kirjainten mukaan. Agglutinoitumattomia punasoluja kutsuttiin ensin C-ryhmäksi, mutta myöhemmin niitä alettiin nimetä ”ohne A” ja ”ohne B”, sekä lopulta pelkäsi O:ksi. Saksan kielen ”ohne” tarkoittaa ”ilman”. [9; 11.]

Muutama vuosi myöhemmin laboratoriokokeessa havaittiin, että jos potilaan seerumi sakkaa verenluovuttajan punasoluja, se ennustaa verensiirron epäonnistumista. Tästä

alkoi verensiirtoserologisten laboratoriomääritysten historia. Vuonna 1937 yhdessä Alexander S. Wienerin kanssa Landsteiner tunnisti myös Rhesus-tekijän, johon Rh-ryhmitys perustuu. [9.]

ABO-veriryhmät perustuvat kahteen glykolipidiantigeeniin A ja B. Punasolut, joiden pinnalla esiintyy vain A-antigeeniä kuuluvat ryhmään A, ja vastaavasti vain B-antigeenin esiintyessä solukalvolla punasolut kuuluvat ryhmään B. Jos punasolun pinnalla esiintyy molempia antigeenejä, on veriryhmä AB. Jos kumpaakaan ei esiinny on veriryhmä O. ABO-järjestelmän A- ja B-rakenteita arvioidaan erytrosyytissä olevan noin 800 000. [3; 9.]

Veren plasmassa esiintyy yleensä vasta-aineita, jotka reagoivat A- ja B-antigeenien kanssa. Ihmisellä on säännönmukaisesti vasta-aineita niitä ABO-järjestelmän antigeenejä kohtaan, jotka häneltä itseltään puuttuvat. Kuvassa 4 on esitetty ABO-veriryhmäjärjestelmän antigeenien ja vasta-aineiden esiintyminen. [9.]



Kuva 4. O-ryhmän veressä punasolun pinnalla ei esiinny antigeenejä, mutta plasmassa on vasta-aineita A ja B. A-ryhmän punasolun pinnalla on A-antigeenejä ja plasmassa B-vasta-aineita. B-ryhmän punasoluissa esiintyy B-antigeenejä ja plasmassa A-tyypin vasta-aineita. AB ryhmän veren punasolujen pinnalla on sekä A- ja B-antigeenejä, mutta plasmassa ei esiinny vasta-aineita.

ABO-järjestelmän vasta-aineet anti-A ja anti-B aiheuttavat helposti hemolyyttisen verensiirtoreaktion, jos erytrosyyttejä siirretään sopivuussääntöjen vastaisesti. Vasta-aineet voidaan todeta ihmisessä noin puolen vuoden iässä. Siitä iästä alkaen ABO-määritykseen laboratoriossa kuuluukin sekä punasoluantigeenien että plasman vasta-aineiden tutkiminen. Näiden lisäksi ABO-ryhmä tarkistetaan vielä sopivuuskoeäytteenä. [9.]

2.3.2 Rh-veriryhmäjärjestelmä

Rh-veriryhmä on saanut nimensä siitä, että Rh-vasta-aineet löydettiin Rhesus-apinoista. Jos punasoluissa on Rh-antigeenejä, määritellään veri RhD-positiiviseksi (Rh⁺), kun taas antigeenien puuttuessa veri määritellään RhD-negatiiviseksi (Rh⁻). Yleensä veren plasmassa ei ole RhD-vasta-aineita. Jos RhD-negatiivinen potilas saa RhD-positiivisen verensiirron, elimistön puolustusjärjestelmä alkaa tuottaa RhD-vasta-aineita, jotka pysyvät veressä. Noin 80 % RhD-negatiivisista henkilöistä immunisoituu jo yhden RhD-positiivisen punasoluyksikön siirrosta. Jos potilas saa toisen kerran RhD-positiivisen verensiirron, aiemmin muodostuneet vasta-aineet saavat aikaan agglutinaation ja hemolyysin luovutetussa veressä, mikä voi johtaa vakaviin reaktioihin. [3.]

Rh-antigeenejä on useita, mutta D-antigeeni on niistä immunogeenisin, joten Rh-positiivisuus ja -negatiivisuus jaotellaan usein sen mukaan, esiintyykö erytrosyyteissä D-antigeenejä. Siksi Rh-veriryhmittelyä nimitään joskus myös D-veriryhmittelyksi. Immunogeenisyys tarkoittaa kykyä vaikuttaa elimistön puolustus- eli immuunijärjestelmään [10]. D-rakenteita arvioidaan olevan jokaisessa erytrosyytissä noin 20 000 - 30 000. RhD-negatiiviselle potilaalle pyritään immunisaation välttämiseksi siirtämään RhD-negatiivisia punasoluja, etenkin kun siirtopotilas on tyttö tai fertiilissä iässä oleva nainen, sillä immunisaation seurauksena muodostunut anti-D-vasta-aine voi myöhemmän raskauden aikana aiheuttaa vastasyntyneen hemolyyttisen taudin. Jos odottava RhD-negatiivinen nainen on altistunut RhD-positiiviselle verelle, hänen anti-RhD-vasta-aineensa voivat läpäistä istukan ja siirtyä sikiön verenkiertoon. Jos sikiö on RhD-negatiivinen, vaaraa ei synny sillä veressä ei ole RhD-antigeeniä. Jos sikiö kuitenkin on RhD-positiivinen, sikiön veressä voi tapahtua agglutinaatiota ja hemolyysiä, mikä johtaa edellä mainittuun vastasyntyneen hemolyyttiseen tautiin. Myös ABO-järjestelmän vasta-aineet voivat aiheuttaa taudin, mutta se ei yleensä ole yhtä vakava kuin Rh-vasta-aineiden aiheuttama. [3; 6; 9.]

RhD-positiiviselle potilaalle RhD-negatiivisten punasolujen siirto ei aiheuta suurempaa immunisaation vaaraa kuin RhD-positiivisten punasolujen siirto. RhD-negatiivisia punasoluja tulisi kuitenkin siirtää RhD-positiiviselle henkilölle vain hätätapauksessa, sillä niitä tulisi säilyttää RhD-negatiivisia siirtoja varten. Verenluovuttajista vain 12 % on RhD-negatiivisia. [9.]

2.3.3 Muut veriryhmäjärjestelmät

ABO- ja Rh-ryhmittelyjen lisäksi on olemassa useita muita veriryhmäjaotteluita. ABO- ja Rh-ryhmien jälkeen immunogeenisin antigeeniryhmä on Kell-ryhmä. Siihen kuuluu 35 antigeeniä, joista kliinisesti merkityksellisin on K. Suomessa verenluovuttajista vain 4 % on K-positiivisia, mutta K-vasta-aine on silti huomattava verensiirtoreaktioiden ja vastasyntyneen hemolyyttisen taudin aiheuttaja. K-negatiivisia punasoluvalmisteita suositellaankin tyttöjen ja fertiili-ikäisten naisten verensiirtoihin. K-antigeeni näkyy punasoluissa noin 10 viikon iässä. [9; 11.]

Duffy-ryhmittelyyn kuuluu 5 antigeeniä. Suuri osa suomalaisista on Duffy-positiivisia. Verrattuna Rh- ja Kell-vasta-aineisiin Duffy-järjestelmän reaktiovoimakkuus laboratoriotesteissä on heikko, mutta ne ovat silti verensiirron kannalta tärkeitä. Heikko reaktiovoimakkuus vaikeuttaa Duffy-vasta-aineiden toteamista, ja muutamassa kuukaudessa ne voivat heiketä niin, ettei niitä seulonnassa enää löydy. [9; 11.]

Veriryhmämäärittely ennen verensiirtoa on äärimmäisen tärkeää. Jos potilaalle siirretään verensiirrossa toiseen ryhmään kuuluvaa verta, voi seurauksena olla jopa kuolemaan johtava reaktio. Taulukossa 1 on kuvattu eri ABO- ja Rh-veriryhmien soveltuvuus verensiirtoihin verensiirron saajan veriryhmän mukaan. [9.]

Taulukko 1. Ohjeistus verensiirroissa käytettäviin veriryhmiin. Taulukossa mukana ABO- ja Rh-ryhmittelyt. [12, s. 15.]

Veriryhmävaihtoehdot punasolujen siirroissa oman veriryhmän loppuessa

Potilaan veriryhmä	Hyvä vaihtoehto	Hätävaihtoehto
A RhD pos	O RhD pos A RhD neg O RhD neg	
A RhD neg	O RhD neg	A RhD pos O RhD pos
B RhD pos	O RhD pos B RhD neg O RhD neg	
B RhD neg	O RhD neg	B RhD pos O RhD pos
O RhD pos	O RhD neg	
O RhD neg		O RhD pos
AB RhD pos	B RhD pos A RhD pos O RhD pos B RhD neg A RhD neg AB RhD neg O RhD neg	
AB RhD neg	B RhD neg A RhD neg O RhD neg	AB RhD pos B RhD pos A RhD pos O RhD pos

3 Verensiirrot

Vuonna 1829 tohtori James Blundell suoritti ensimmäisen virallisena pidetyn ihmisestä ihmiseen tehdyn verensiirron. Ihmisten välisiä verensiirtoja on raportoitu aiemminkin, mutta Blundell oli ensimmäinen asiaan perehtynyt lääkäri, joka otti huomioon riskien mahdollisuudet ja kirjasi ylös tekemänsä kokeet. [6; 9.]

3.1 Verensiirron merkitys terveydenhoidossa

Punasoluja käytetään terveydenhuollossa mm. kirurgisten toimenpiteiden yhteydessä, verenhukkaan ja anemiaan. Yksi punasoluvalmiste nostaa aikuisen veren hemoglobiiniipitoisuutta noin 10 g/l. Hemoglobiinin (Hb) viitearvot miehillä ovat 134 - 167 g/l ja naisilla 117 - 155 g/l. Lapsilla viitearvot vaihtelevat iän mukaan. Useimmat potilaat saavat anemian oireita, jos veren hemoglobiiniipitoisuus laskee alle 70 g/l. Punasolusiirroille ei kuitenkaan voida antaa tarkkoja Hb-rajoja, vaan siirtotarve määräytyy tapauskohtaisesti. [12; 13.]

Hätäverensiirroissa päätöksen verensiirrosta tekee hoitava lääkäri. Hätätapauksissa verensiirtojen vaatimat tutkimukset pyritään tekemään mahdollisimman nopeasti. Tarvittavat näytteet tulisi ottaa mielellään ennen verensiirron aloittamista. Hätäverensiirrot aloitetaan O RhD neg –tyypin punasoluilla. Se on ns. universaali veriryhmä, joka sopii kaikille vastaanottajille. Potilaan oman veriryhmän mukaisiin valmisteisiin voidaan siirtyä vasta, kun veriryhmä on määritetty kahdesti. [14; 15.]

3.2 Veripalvelu

Suomen Punaisen Ristin Veripalvelu on erillinen osa Suomen Punaista Ristiä ja hoitaa keskitetysti koko maan veripalvelutoimintaa. Sen tehtäviin kuuluu verenluovuttajien rekrytointi ja verenluovutusten järjestäminen ympäri maata, veren keräys ja luovutetun veren testaus sekä verivalmisteiden tuotanto, varastointi ja jakelu sairaaloihin. [16.]

Veripalvelu on taloudellisesti riippumaton ja voittoa tavoittelematon taho. Sairaalat maksavat Veripalvelulle tilaamistaan valmisteista ja palveluista. Veripalvelun toimintaa ohjaa laki veripalvelutoiminnasta ja Euroopan unionin veriturvallisuusdirektiivi. Suomessa Veripalvelun toimintaa valvoo lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskus Fimea. [16.]

Suomessa verta voi luovuttaa eri puolilla maata veripalvelutoimistoissa sekä liikkuvissa verenluovutustilaisuuksissa. Verenluovutuksesta ei saa Suomessa palkkiota, mikä omalta osaltaan takaa verensiirtojen turvallisuuden. Luovutettu kokoveri jaetaan Veripalvelussa punasolu-, verihiutale-, ja plasmavalmisteiksi. Kaikki valmisteet tehdään loppuun asti Veripalvelussa ja käytetään potilaiden hoitoon Suomessa. [16.]

3.3 Verikeskus

Sairaalan verikeskus on yleensä sijoitettu laboratorion yhteyteen, ja yhdessä verivalmisteiden toimittajan ja hoito-osaston kanssa se vastaa verensiirtojen turvallisuudesta. Verikeskuksen tehtävät määräytyvät sairaalan ja sen verensiirtotoiminnan laajuuden mukaan. Yleensä tehtävänä on ylläpitää verivalmisteiden varastoa sairaalassa sekä vastata verensiirtoa edeltävistä verensiirtotutkimuksista. Verikeskus ottaa vastaan hoitoyksikön tekemät veritilaukset ja tilaa verivalmisteet Veripalvelusta. Verikeskus ylläpitää verivarausta ja potilaskohtaista verikortistoa, johon on kirjattu mm. todetut vasta-aineet. Verikeskus suorittaa verensiirtoa edeltävät verensiirtoserologiset laboratoriotutkimukset ja huolehtii menetelmien laadunvarmistuksesta. [9.]

Verensiirtoihin liittyvät laboratoriotutkimukset

Ennen verensiirtoa potilaalta tulee ottaa laskimoverinäytteitä, joista verikeskus tekee verensiirtoserologisia tutkimuksia. Perinteisesti tutkimukset on tehty nimensä mukaan veren seerumista, veren soluttomasta osasta, joka veren hyytyessä erottuu punasoluista. Nykyään tutkimukset tehdään veren plasmasta, vaikka nimikettä serologia edelleen käytetäänkin. Seerumi on muuten sama kuin plasma, mutta siitä puuttuu hyytymisessä tarvittavia plasman aineosia, hyytymistekijöitä. [9; 17.]

Veriryhmämääritys E-ABORh on verensiirron perustutkimus. ABO- ja RhD-ominaisuudet säilyvät läpi elämän, joten yleensä veriryhmämääritys tehdään vain kerran. Kantasolusiirron saaneilla potilailla veriryhmä saattaa kuitenkin muuttua, mikäli potilas ja luovuttaja ovat eri veriryhmää. Myös alle kuuden kuukauden ikäiseltä lapselta määritettynä veriryhmätulos ei ole lopullinen, vaan se varmistetaan tarvittaessa täydellisellä veriryhmämäärityksellä yli puolen vuoden iässä. [3; 13; 17.]

Koska veriryhmä ei muutu, voidaan tutkimus tilata otettavaksi hyvissä ajoin ennen suunniteltua verensiirtoa. Veriryhmämäärityksen yhteydessä tehdään myös punasoluvasta-aineiden seulonta (P-VrAb-O). Jos siinä saadaan positiivinen tulos, eli vasta-aineita löytyy, tehdään jatkotutkimuksena punasoluvasta-aineiden tunnistus. Tilaamalla veriryhmämääritys ajoissa etukäteen varmistetaan, että veriryhmänäytettä ei oteta samaan aikaan sopivuuskoenäytteen kanssa (B-XKoe). Sopivuuskoe on otettava lähellä verensiirtoa. Tärkeää on, että näytteet otetaan eri kerroilla ja ne ottaa eri näytteenottaja, sillä veriryhmä tulee määrittää kahdesta erillisestä näytteestä: sopivuuskoenäytteestä tehdään veriryhmän tarkistus, ja tulosta verrataan veriryhmämäärityksen tulokseen. Tuloksen on oltava identtinen aikaisemmin määritetyn veriryhmän kanssa. Kahdella toisistaan riippumattomalla näytteellä pyritään siihen, että mahdollinen virhe potilaan tunnistuksessa, tietojen kirjaamisessa tai näytteiden käsittelyssä tulee ilmi ennen verensiirtoa. [9; 13.]

Sopivuuskokeella tutkitaan, ovatko siirrettäväksi aiotut punasolut potilaalle veriryhmäserologisesti sopivia vai onko potilaan plasmassa punasoluvasta-aineita siirrettäviä punasoluja vastaan. Sopivuuskoe tehdään ennen verensiirtoa jokaisesta siirrettäväksi aiotusta punasoluyksiköstä. Tästä voidaan poiketa vain erityistapauksissa, kuten hätäverensiirroissa ja massiivisissa verensiirroissa. Verensiirtohetkellä sopivuuskoe saa olla korkeintaan viisi vuorokautta vanha. Joissakin tapauksissa punasolujen toimittaminen voi kestää huomattavasti kauemmin kuin viisi päivää, esim. jos potilaalla on harvinaisia vasta-aineita, jolloin sopivien punasolujen saaminen voi kestää jopa viikkoja. Näissä tapauksissa noudatetaan verikeskuksen antamia erityisohjeita. [9.]

3.4 Hoitavan yksikön valmistautuminen verensiirtoon

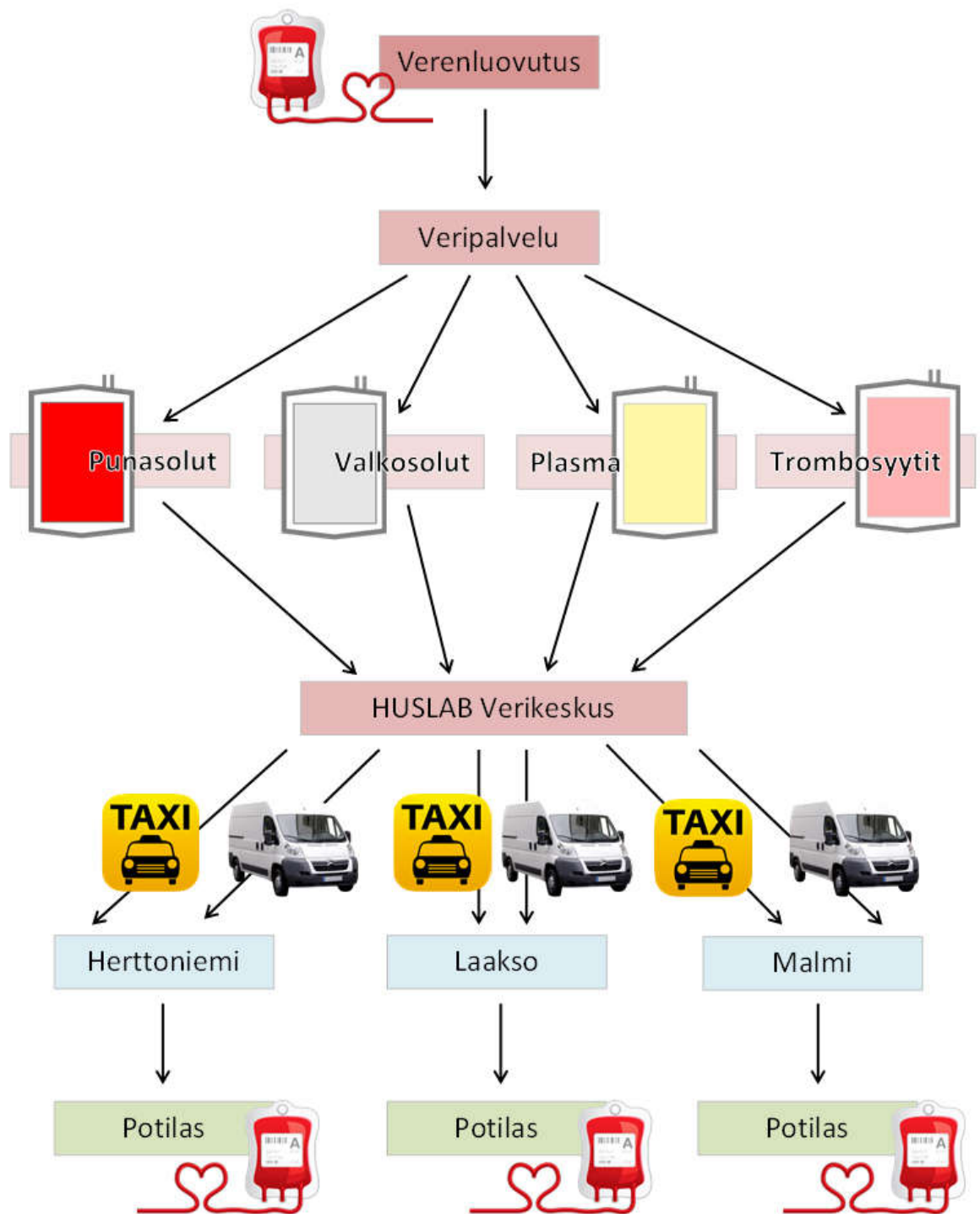
Hoitavan yksikön tulisi valmistautua verensiirtoihin mahdollisuuksien mukaan etukäteen tarkistamalla ohjeistus sekä tilaamalla sopivuustutkimukset ja verivalmisteet hyvissä ajoin. Veriryhmä- ja punasoluvasta-ainenäytteet voidaan ottaa 1 - 4 viikkoa ennen suunniteltua verensiirtoa, mutta sopivuuskoe korkeintaan viisi vuorokautta aikaisemmin. Siirrettävän yksikön tulee tilata verivalmiste vasta välittömään siirtoon. [12; 14; 15.]

3.5 Valmisteiden kuljetus

Verivalmisteiden kuljetuksen tulee aina tapahtua olosuhteissa, joilla taataan tuotteen säilyvyys. Lähettävä verikeskus pakkaa verivalmisteet kuljetuslaukkuun kylmävaraajien kanssa. Punasoluvalmisteiden kuljetuslämpötilan on oltava noin $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Suomen kylmästä ilmastosta ja pitkistä välimatkoista johtuen Veripalvelu määrittää kuljetuslämpötilarajoiksi $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lämpötilarajojen määrittely siis vaihtelee hieman ilmastosta riippuen. Punasolut kuitenkin hemolysoituvat $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa, joten alle $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötiloja ei saa esiintyä kuljetuksissa lainkaan. Jäätä tai kuivajäätä ei saa käyttää verivalmisteiden viilentämiseen, sillä ne voivat laskea lämpötilan paikoin liian alas, jolloin punasolut voivat hemolysoitua. [2; 12; 18; 19.]

Yksi verensiirtojen turvallisuuden suurimmista riskitekijöistä on verivalmisteiden optimaalisen lämpötilan ylläpito kuljetusten aikana. Verivalmisteita tulee aina kuljettaa menetelmällä, joka on validoitu säilyttämään valmisteiden laatu yli sallitun ajan ja ympäröivän lämpötilan ääripäissään. On suositeltavaa käyttää lämpötilaindikaattoria kuljetuksen aikana. Punasoluvalmisteiden lämpötila ei saisi laskea alle $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:n tai ylittää $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Validoitujen kuljetusmenetelmien tulee taata, että 24 tunnin maksimikuljetusajan kuluttua lämpötila ei ole noussut yli $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$:n. Veripalvelussa on käytössä validoidut kuljetusmenetelmät ja niiden lisäksi lämpötilaseuranta, sillä validoinnista huolimatta valmisteiden kuljetuksen aikana voi sattua inhimillisiä erehdyksiä ja tavanomaisesta poikkeavia olosuhteita. [18; 19.]

World Health Organization (WHO) suosittelee verivalmisteille valmistettavaa erityistä kuljetuslaatikkoa, joka oikein pakattuna takaisi tuotteille sallitut lämpötilat. Jotkut kuljetuslaatikot käyttävät ajoneuvon akun tasavirtaa viilennykseen. Jossain laatikoissa on paristokäyttöinen viilennys, mikä takaa sopivan jäähdytyksen yli 24 tunnin ajaksi. Kyseiset laatikot ovat usein kalliita, mutta eliminoivat tarpeen erillisille kylmävaraajille. Tällaisia kuljetuslaatikoita voi myös käyttää veren tilapäissäilytykseen verijäkäapin vikatilanteessa. Kuvassa 5 on esitetty verivalmisteiden kuljetuksen logistiikkaketju verenluovutuksesta kotisairaalapotilaaseen siirtoon saakka siten kuin se tässä opinnäytetyössä seuratuissa kuljetuksissa tapahtuu. [2.]



Kuva 5. Verivalmisteiden kuljetuksen logistiikkaketju verenluovutuksesta verensiirtoon. [20; 21; 41.]

3.6 Valmisteiden säilytys ja käsittely ennen siirtoa potilaaseen

Punasoluvalmisteiden säilytyslämpötilan tulee olla $+2\text{ °C}$ - $+6\text{ °C}$. Verivalmisteiden säilytysjäakaapin pitäisi olla varattu vain verivalmisteille, jolloin voidaan minimoida säilytyslämpötilaan vaikuttavat ovenavaukset. Säilytysjäakaapissa on suositeltavaa olla ylijäämätilaa, ja tilan tulee olla helposti tarkastettavissa. Jäakaapin toimivuus tulee olla taattu ja lämpötilan jakautumisen tasainen. Veripalvelussa säilytysjäakaapeista tehdään lämpötilakartat tyhjinä ja kuormattuina, jolloin nähdään lämpötilan jakautuminen. Hyvä eristys freonivapaalla materiaalilla on olennainen. Säilytysjäakaapissa pitää olla hälytyslaitteet sekä lämpötilaseuranta, joka osoittaa lämpötilan yhden desimaalin tarkkuudella. Lämpötila-anturin tarkkuus voi kuitenkin joskus olla tätä pienempi. Veripalvelussa on vaatimuksena $\pm 1\text{ °C}$:n tarkkuus, vaikka käytännössä päästään usein $\pm 0,2\text{ °C}$:n tarkkuuteen. Lämpötila-anturi tulisi sijoittaa veripussiin, jossa on 10 % glyseroliliuosta sama tilavuus kuin kaapissa säilytettävissä punasoluvalmisteissa. Pussi tulisi sijoittaa jäakaappi-tilan yläosaan tai muuhun paikkaan, joka on lämpötilakartassa osoittautunut lämpötilan kannalta huonoimmaksi. Hälytyslaitteessa tulisi olla akustinen ja optinen signaali, ja se tulee testata säännöllisesti. Säilytysjäakaapin tulee noudattaa paikallisia turvallisuusvaatimuksia ja olla helposti puhdistettavissa vahvoillakin puhdistusaineilla. Sen olisi hyvä olla kytkettynä varavoimaverkkoon. Ideaalisessa säilytysjäakaapissa on lasinen tai epoksinen ovi, jolloin kaapin sisältö voidaan nähdä ovea avaamatta. [18; 19.]

Käyttökelpoisiksi havaittujen punasoluvalmisteiden siirto potilaaseen on saatava päätökseen kuuden tunnin kuluessa tarkistuksesta eli siitä, kun valmiste on otettu huoneenlämpöön. Yli tunnin huoneenlämmössä ollutta valmistetta ei saa enää laittaa takaisin jäakaappiin, vaan siirto on suoritettava määrätysssä ajassa tai valmiste on poistettava käytöstä. [12.]

Kotisairaalaverensiirtoa suositellaan vain potilaille, jotka ovat saaneet verensiirtoja sairaalassa ongelmitta viime kuukausien aikana. Verensiirtoihin perehtyneen sairaanhoitajan tulee suorittaa punasolujen siirto. Verensiirron aikana potilasta ei saa jättää yksin. [14; 15.]

4 Punasoluvalmisteet

Verensiirtoja tehdään pääasiassa happi- ja hiilidioksidikierron ylläpitoon, verenvuodon korjaamiseksi ja hyytymishäiriöiden hoitoon. Kokoverisiirto ei välttämättä ole toimiva kaikissa tapauksissa, siitä voi seurata potilaalle komplikaatioita ja kokoveren säilytys sellaisenaan on hankalaa. Potilaalle tulee verensiirrosta antaa sitä veren osaa, jota hänen tilansa vaatii. [18.]

Suomessa siirretään joka vuosi noin 55 000 potilaalle noin 230 000 punasoluvalmistetta. Kuvassa 6 on esitetty valmis punasoluvalmiste. Kaikissa punasolujen siirroissa tulee käyttää laboratoriokokeissa määritetyn fenotyypin mukaisia punasoluvalmisteita, jos siirtopotilaalla on todettu kliinisesti merkittäviä vasta-aineita. Siirrettävien punasolujen tulee olla negatiivisia niiden veriryhmäantigeenien suhteen, joita kohtaan vasta-aineita on muodostunut. [12.]



Kuva 6. Punasoluvalmiste.

Joissain tapauksissa joudutaan käyttämään erikoisvalmisteisia punasoluvalmisteita. Pestyjä punasoluja käytetään siirtopotilaille, joille perusvalmiste voi aiheuttaa vakavia haittavaikutuksia. Pestyt punasoluvalmisteet valmistetaan pesemällä tuoreet valkosoluttomat punasolut kolme kertaa 0,9 %:n natriumkloridiliuoksella. Pesun tarkoitus on poistaa jäljellä oleva plasma, jonka mukana poistuu liukoinen immunoglobiini A (IgA), plasmaproteiinit ja muut yhdisteet. Potilailla, joilla on IgA-puutos tai -vasta-aineita, normaali punasoluvalmiste voi aiheuttaa anafylaktisen eli äkillisen allergisen reaktion. Punasolujen pesu kestää noin kolme tuntia, ja käsitellyillä punasoluilla on vain 24 tunnin käyttöaika. [12.]

Veriryhmä luokitellaan harvinaiseksi, jos sen esiintyvyys väestössä on 1:1000 ja erittäin harvinaiseksi, jos esiintyvyys on 1:5000. Harvinaista veriryhmää olevien punasoluvalmisteiden toimittaminen voi kestää useita viikkoja. Jos Suomesta ei löydy sopivia valmisteita tai luovuttajia, punasoluvalmisteet voidaan tilata ulkomailta Veripalveluun pakastettavaksi. Pakastettujen punasoluvalmisteiden suoja-aineena on glyseroli, joka pestään pois sulatuksen jälkeen. Käsittely aiheuttaa hemolyyysiä, joka kiihtyy säilytysajan kuluessa. Punasoluvalmisteiden sulattaminen kestää noin kaksi tuntia, ja valmisteita voidaan sulattaa vain yksi kerrallaan. Sulatetun punasoluvalmisteiden säilytysaika on seitsemän vuorokautta +2 °C - +6 °C:n lämpötilassa, mutta se tulisi siirtää potilaaseen mahdollisimman pian sulatuksen jälkeen. [12.]

Keskosille, kantasoluhoitoa saaville tai hematologista sairautta sairastaville potilaille voidaan joutua antamaan sädetettyjä punasoluvalmisteita. Näille potilaille pienikin määrä punasoluvalmisteisiin jääneistä lymfosyyteistä voi aiheuttaa vaikeita komplikaatioita. Sädetys katkaisee lymfosyyttien DNA:n estäen niiden toiminnan ja jakautumisen. Sädetys ei vaikuta punasoluihin, sillä niissä ei ole tumaa ja siten perintöainesta. Säteily kuitenkin heikentää erytrosyyttien solukalvoa aiheuttaen hemolyyysiä, joten sädetystä ei saa toistaa. Heti kokoverestä erottelun jälkeen sädetettävien punasolujen käyttöikä on 28 vuorokautta. Tätä myöhemmin sädetetyt punasolut tulee käyttää vuorokauden sisällä. Poikkeuksena ovat kohdunsisäiset verensiirrot, jolloin sädetettyjen punasoluvalmisteiden käyttöaika on vain 12 tuntia. [12; 22.]

4.1 Punasoluvalmisteiden valmistus

Kokoveri kerätään luovuttajalta polyvinyylikloridipussiin, jossa on antikoagulanttiliuos, eli hyytymistä estävä liuos, sekä soluravinteita kuten glukosia ja adeniinia. Keräyspussissa käytettyjen materiaalien ja liuosaineiden tulee noudattaa European Pharmacopeian (EP) säännöksiä hemokompatibiliteetista, eli yhteensopivuudesta veren kanssa. Verensiirron saajalle ei saa koitua haittaa verivalmisteeseen mahdollisesti suodattuvista aineista. [18.]

Veren osia käsiteltäessä on suositeltavaa käyttää kaikissa vaiheissa suljettua järjestelmää, mutta joissain tapauksissa voidaan joutua käyttämään avointa järjestelmää. Suljettu järjestelmä on eristetty, eli siinä ulkoinen ja sisäinen sisältö eivät pääse sekoittumaan, vaan kaikki syötöt ja ulostulot ovat tunnettuja [23]. Avoimen järjestelmän sisältö puolestaan pääsee reagoimaan ulkoisen ympäristön kanssa. Avoimessa järjestelmässä valmistetut punasolut tulee siirtää potilaaseen 24 tunnin kuluessa käsittelystä. [18.]

Veren soluista erytrosyyttien tiheys on suurin; 1,1 grammaa millilitrassa. Verta sentrifugoitaessa erytrosyytit asettuvat luovutuspussin pohjalle, niiden päälle leukosyytit, trombositit ja päällimmäiseksi soluton veren plasma. Kun suspensiota, tässä tapauksessa verta, pyöritetään suurella nopeudella sentrifugissa, vajoavat tiheydeltään suurimmat hiukkaset uloimmalle radalle eli pussin pohjalle ja kevyemmät jäävät sisemmälle radalle. Kappaleet siis sedimentoituvat sentrifugaalivoimakentässä. Aineeseen kohdistuva suhteellinen sentrifugaalivoima (RCF) ilmaistaan g-arvona. Esimerkiksi 1500 g tarkoittaa, että kiihtyvyys on 1500-kertainen maan vetovoimaan nähden. G-arvo riippuu sentrifugin roottorin halkaisijasta ja kierrosnopeudesta (rpm). Sentrifugoinnissa on tärkeää tasapainottaa valmisteet siten, että toisiaan vastakkain on yhtä suuret massat. Sentrifugoinnin jälkeen erotellut veren osat jaetaan omiin pusseihinsa suljetussa järjestelmässä. [18; 24; 25.]

Sentrifugin asetuksissa on yleensä ilmoitettu RFC:n sijaan kierrosnopeus (rpm). RFC voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$RFC = 11,18 * r * \left(\frac{Q}{1000}\right)^2$$

missä r on roottorin säde senttimetreissä ja Q kierrosnopeus (rpm). [26.]

Punasoluvalmisteisiin sisällytetään myös natriumsitraattia, sitruunahappoa ja glukoosia, sekä toisinaan adeniinia, guanosiinia ja fosfaattia. Sitraatti sitoo kalsiumia ja estää veren hyytymisen. Sitruunahappoa lisätään antikoagulantteihin, jotta vetyionipitoisuus olisi sopiva säilytyksen aikana. Ilman sitruunahappoa punasolut olisivat liian emäksisiä. Erytrosyytit käyttävät glukoosia säilytyksen aikana ATP:n tuotantoon. [18.]

Valmisteen happamuus lisääntyy säilytyksen aikana, kun taas ATP:n määrä vähenee. Lisäämällä valmisteeseen adeniinia erytrosyytit voivat syntetisoida lisää ATP:tä. Kun punasoluvalmisteita valmistetaan, merkittävä osa glukoosia ja adeniinia poistuu plasmaan. [18.]

4.2 Lämpötilan vaikutus punasoluihin

Nestemäisenä säilytetyt punasolut säilyvät $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa 28 vuorokaudesta 49 vuorokauteen keräämisestä, käsittelystä ja ravintoaineliuksesta riippuen. Pakastettuna glyserolin kanssa punasolut voivat säilyä 30 vuotta, mutta valmiste on sulatuksen jälkeen formuloitava eli muotoiltava sopivassa aineessa. Pakastus on tehtävä nopeasti, jotta solunsisäiset nesteet eivät pakenisi solunulkoiseen tilaan. Liian nopea pakastus voi kuitenkin aiheuttaa punasolun sisäisen jäätymisen, joten pakastamisen on tapahduttava järjestelmällisesti. Punasolut jäätyvät ja hemolysoituvat eli hajoavat kiihtyneesti alle $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. [27.]

Punasolujen siirto potilaaseen tulisi saattaa loppuun kuuden tunnin kuluessa valmisteen ottamisesta huoneenlämpöön, sillä sen jälkeen valmisteessa on riski bakteerien nopeaan lisääntymiseen. Tunnin huoneenlämmössä säilytyksen jälkeen punasoluja ei saa enää siirtää takaisin säilytysjäakaappiin, vaan ne on siirrettävä potilaaseen tai hävitettävä. [27.]

5 Punasoluvalmisteiden lämpötilaseurantatekniikat

World Health Organization (WHO) on tammikuussa 2014 julkaissut teknisiin raportteihinsa No. 961, 2011 lisäyksen, jossa kuvataan edellytyksiä lääkinnällisissä kuljetuksissa käytettäville lämpötilaseurantamonitoreille. Käytettävä teknologia tulee valita käyttäjävaatimusten määrittelyjen pohjalta. Kaikkien monitorointijärjestelmien tulee kyetä osoittamaan, onko valmiste altistunut haitallisille lämpötiloille kuljetuksen tai säilytyksen aikana ja antaa tarvittavat tallenteet dokumentaatiota varten. Useaan kertaan käytettävät laitteet tulee kalibroida sertifioitua viitestandardia vasten vähintään kerran vuodessa, ja kalibroinnin tulee osoittaa lämpötilamonitorin toimivuus koko sen lämpötilakäyttöalueella. [28.]

5.1 Nykyiset menetelmät

Suomessa verensiirtovalmisteiden seurannassa käytetyt lämpötilamonitorit ovat erilaisia paikasta ja sairaanhoitopiiristä riippuen. Ainakaan toistaiseksi ei ole suunnitteilla yhteistä lämpötilaseurantatekniikoita valmisteiden käsittelyn eri vaiheiden välillä. Kiinteissä tiloissa käytetään lähes kaikissa toimipisteissä hälytysjärjestelmällisiä säilytystiloja, ja kuljetuksissa ovat käytössä langattomat seurantaloggerit.

5.1.1 Veripalvelun verivalmisteiden kuljetuksissa käyttämä teknologia

Veripalvelu käyttää Sensiren TempNet® Pharma-järjestelmää kokoverivalmistekuljetusten seurannassa, kun ympäri maata sijaitsevista kiinteistä ja liikkuvista verenluovutus-pisteistä lähetetään luovutettua verta Helsingin Kivihaan toimipisteeseen käsiteltäväksi.

TempNet® Pharman langattomat sensorit seuraavat kuljetusautoon pakattujen kuljetuslaatikoiden lämpötilaa ja lähettävät seurantatiedon tukiasemalle, joka voi sijaita esimerkiksi pääteasemalla tai muualla kiinteässä pisteessä. Kiinteissä pisteissä tapahtuu automaattinen kuljetuksen käynnistys ja mittaus. Kun kuljetus lähtee, lähtöpaikan tukiasema tunnistaa, että seurantalaitte eli loggeri ei ole enää sen kuuluvuuspiirissä ja antaa kuljetukselle automaattisesti lähtöaikaleiman järjestelmään. Vastaanottopisteessä tukiasema puolestaan tunnistaa kuuluvuusalueelle saapuneen loggerin ja antaa automaattisesti vastaanottoaikaleiman. Perillä loggeri myös purkaa mittaustiedon järjestelmään ja analysoi onko lämpötilarajoja ylitetty tai alitettu aikaleimojen välillä. Liikkuvissa yksiköissä

tukiasema kulkee yksikön mukana, ja se on käynnistettävä ja sammutettava erikseen. [29.]

Tukiasemalla on 3G- tai LAN-yhteys Internetiin ja sitä kautta TempNet®-käyttöliittymään. TempNet® Pharma toimii Internet-selaimella eikä vaadi ylimääräistä ohjelmistoa. Kuljetuksen saapuessa määränpäähänsä mittaustiedot purkautuvat automaattisesti järjestelmään, ja mahdolliset hälytykset tulevat ennalta sovittuihin sähköpostiosoitteisiin ja tekstiviestinä puhelimiin. Sensorin mittaustiheyttä ja muistikapasiteettia voi säätää kulloisiinkin tarpeisiin sopivaksi. [29.]

TempNet® Pharman lämpötilasensorit ovat paristokäyttöisiä, ja niitä on saatavilla eripituisilla johdoilla varustettuina, jolloin mittapään voi asettaa halutulle etäisyydelle mitattavasta kohteesta. Käyttölämpötilaväli on $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja mittaustarkkuus $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. [29.]

TempNet®-tukiaseman keskusyksikkö kerää tiedot sensoreilta ja lähettää tiedot tietokantaan matkapuhelinverkon kautta GPRS-yhteydellä. GPRS tarkoittaa General Packet Radio Serviceä, GSM-verkossa toimivaa tiedonsiirtopalvelua. Tukiasema vaatii SIM-kortin tiedonsiirtoa varten ja jatkuvan 230 V:n virran. Tiedonsiirto tukiaseman ja loggerin välillä tapahtuu taajuudella 868 MHz, joka on yleisesti käytössä RFID:illä (Radio Frequency Identification Device) ja langattomilla hälytysjärjestelmillä. [29.]

5.1.2 HUSLABin verivalmisteiden kuljetuksissa käyttämä teknologia

HUSLAB käyttää verivalmistekuljetusten seurannassa Elpron Libero Ti1 –lämpötilaloggeria, joka on esitetty kuvassa 7. Libero Ti1 tallentaa kuljetuksenaikaiset lämpötilatiedot pdf-tiedostona, joka voidaan purkaa tietokoneelle USB-portin kautta. Libero Ti1-loggerin käyttölämpötilaväli on $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, ja mittaustarkkuus $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, kun ulkoinen lämpötila on $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$:n ja $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$:n välillä. Näiden rajojen ulkopuolella mittaustarkkuus on $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Libero Ti1:n paristot kestävät noin vuoden asetuksista riippuen, ja se on helppo ohjelmoida halutuille asetuksille. Esimerkiksi mittausten näytteenottovälin voi asettaa minuita 60 minuuttiin, ja mittauksen aloituksen viiveen 24 tuntiin asti. [30.]

Libero Ti1 –loggerissa on sisäinen NTC-anturi. NTC:t ovat puolijohteista valmistettuja termistoreja eli lämpötilalle herkkiä vastuksia. NTC:n toiminta perustuu lämpötilan nousun aiheuttamaan resistanssin pienenemiseen ja varauksenkuljettajien lisääntymiseen.

Mitä enemmän varauksenkuljettajia on, sitä enemmän sähkövirtaa materiaalissa on. [30; 31.]

NTC:n toimintaa kuvaa seuraava kaava:

$$I = n * A * v * e$$

missä I on sähkövirta ampeereina, n on varauksenkuljettajien tiheys (lkm/m³), A materiaalin pinta-ala (m²), v on varauksenkuljettajien nopeus (m/s) ja e elektronin alkeisvaraus ($e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ coulombia). [32.]



Kuva 7. Libero Ti1 –loggeri. [33]

5.2 Tulevaisuus ja kehitys

Verivalmisteita kuljetetaan ympäri maailmaa ja Suomenkin sisällä pitkiä matkoja. Kehitys tulee keskittymään entistä enemmän langattomuuteen, seurantalaitteiden kokoon sekä seurantatietojen entistä nopeampaan automaattiseen purkamiseen vastaanottopai-
kassa.

Alkuvuodesta 2015 Enfucell ja NXP Semiconductors esittelivät uuden kertakäyttöisen lämpötilaseurantavälineen. Sen sanotaan toimivan kuten muutkin kertakäyttöloggerit, mutta kokonsa ja hintansa vuoksi se sopii tuotekohtaiseen seurantaan. Loggerissa on NXP:n NHS3100-siru, tulostettava paristo ja NFC-antenni. Siruun on integroitu 0,3 °C:n

tarkkuudella toimiva lämpötila-anturi, NFC-liittymä, muisti ja ohjelmoitava Cortex M0+ - prosessori, joka on hyvin energiatehokas. [34.]

Ohjelmoitava arkkitehtuuri mahdollistaa tuotekohtaisen lämpötilaprofiilin luomisen. Sisäisen aikaviitteen avulla voidaan logistiikkaketjusta jäljittää lämpötilarajojen ylitykset ja alitukset. NFC-liittymällä voidaan missä vaiheessa kuljetusta tahansa seurata valmisteen tilaa NFC:tä tukevalla lukijalla, kuten älypuhelimella. [34.]

Enfucellin paristoteknologia tarjoaa ohuen, joustavan ja ympäristöystävällisen virtalähteen, joka voidaan tulostaa kelmulle. Paristokapasiteetti on suuri ja NHS3100-siru vaatii vain vähän virtaa, jolloin tuotteen varastointiaika on vuoden ja loggeri toimii jopa 2 vuotta aktivoimisensa jälkeen. Tällainen ratkaisu vähentää biolääketieteellisen jätteen syntymistä, sekä lisää turvallisuutta ja tehokkuutta näyttämällä, missä vaiheessa logistiikkaketjua tuotteen käsittely ei ole ollut asianmukaista. [34.]

WHO:n teknisten raporttien lisäyksessä on vertailtu erilaisten lämpötilamonitoriteknikoiden etuja ja haittoja. Libero Ti1:n ja TempNet® Pharman kaltaisissa EDLM-lämpötilaseurantalaitteissa (Electronic Data Logging Monitor) on etuja, mutta myös joitakin haittapuolia, jotka on esitelty taulukossa 2. EDLM on kannettava laite, joka mittaa ja tallentaa lämpötila-arvoja elektronisen anturin avulla ennalta asetetuin aikavälein. EDLM-laitteissa on ohjelmoitavat hälytysmahdollisuudet ja integroidut näytöt. Laitteeseen tallennetuista tiedoista voidaan luoda raportteja, jotka on mahdollista tallentaa, jakaa ja analysoida sopivalla ohjelmistolla. [28.]

Taulukko 2. EDLM-laitteiden etuja ja haittoja. [28.]

Vahvuudet	Heikkoudet
Tarkkuus yleensä vähintään $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$	Lämpötilan tarkkuus vaihtelee valmistajan ja käyttölämpötila-alueen mukaan.
Voidaan käyttää tulosten analysoinnissa. Aikamerkittyyjä lämpötilatietoja voidaan käsitellä tilasto-ohjelmilla kuten Excelillä®.	Perusasetuksilla mittaus tapahtuu vain 1-4 kertaa tunnissa.
Paljon valinnanvaraa valmistajissa ja malleissa.	Tiedon lataamiseen saatetaan tarvita erillisiä ohjelmistolisenssejä, sovelluksia tai laitteistoja.
Normaalien raporttien lisäksi helppo tulostaa käyriä sekä keskiarvoja.	Rajoitettu käyttöaika. Käytettävä muisti ja lukemisten tiheys voi vaikuttaa laitteen käyttöaikaan.
Mahdollisuus analysoida useampia kerättyjä tietoja.	Tiedon hallinta voi olla vaivalloista.
Kertakäyttöloggerit ovat usein kalibroituja ja sarjanumeroituja jäljittämisen helpottamiseksi.	Kallis joihinkin muihin lämpötilaseurantavaihtoehtoihin nähden.
Mahdollisuus kolmannen osapuolen tiedonkäsittelyyn.	Kolmannen osapuolen tiedonkäsittelymahdollisuus voi maksaa erikseen.
Useimmissa laitteissa kaksi hälytysasetusta (korkea/matala).	Vääriä hälytyksiä tapahtuu herkästi, mikä aiheuttaa ylimääräistä tiedon analysointia ja työn hukkaa.
Mahdollisuus tiedonhakuun.	

WHO:n lisäyksessä on listattu EDLM-laitteiden lisäksi muunlaisia seurantalaitteivaihtoehtoja, joissa on vähemmän heikkouksia, vaikkakaan täysin ongelmattomia lämpötilaseurantalaitteita ei ole. EDI-laite (Electronic Data Integrator) on elektroninen lämpötilaseurantainstrumentti, jonka raportointiominaisuudet ovat samanlaiset kuin EDLM-laitteessa, mutta se on usein tarkempi. EDI-laitteissa on eliminoitu väärät hälytykset mahdollisuudella ohjelmoida sallitut heitot hälytysasetuksiin. Ne mukautuvat lämpötilamuutoksiin nopeasti ja ovat usein EDLM-laitteita edullisempia. EDI-laitteiden tuloksia ei kuitenkaan usein voi analysoida tilasto-ohjelmistoilla. EDLM-laitteesta poiketen EDI:ssa on standardoidut lämpötila- ja aikarajat, ja tallennusten tiheys ja pituus eivät ole riippuvaisia muistin määrästä. [28; 35.]

Esimerkki EDI-laitteesta on Berlingerin Q-tag® CLm doc. Se on kertakäyttöinen lämpötilaloggeri, jonka tarkkuus on 0,1 °C -25 °C:n ja +55 °C:n välillä. Se tallentaa lämpötilan minuutin välein, ja siihen voi asettaa viisi lämpötilahälytysrajaa. Tietokoneeseen USB-portin kautta yhdistettäessä Q-tag® luo automaattisesti pdf-tiedoston, joka sisältää tallennetut tiedot ja kuvaajan kuljetuksen aikaisista lämpötiloista. Ylimääräistä ohjelmistoa ei tarvita. Lämpötilatiedot voi lukea myös laitteen näytöltä. [36.]

WHO:n mukaan eräitä tehokkaimpia tämän hetken lämpötilaseurantalaitteita ovat elektroniset lämpötilan monitorointi- ja tapahtumaloggerijärjestelmät. Ne voivat tallentaa lämpötilahistorian lisäksi myös tapahtumia, kuten kuljetusauton oven avaamisia ja sulatuskierroksia. Tällaiset järjestelmät ovat usein käyttäjän ohjelmoitavissa ja seurattavissa satelliittilinkin kautta. Taulukossa 3 on listattu näiden laitteiden etuja ja haittoja. [28.]

Taulukko 3. Elektronisten lämpötilan monitorointi- ja tapahtumaloggerijärjestelmien etuja ja haittoja. [28.]

Vahvuudet	Heikkoudet
Tarkkuus yleensä vähintään $\pm 0,5$ °C	Ei voi seurata yksittäisiä kuljetusyksiköjä (veripusseja), ellei yksiköiden määrä ole vähäinen.
Tehdaskalibroitu jäljitettävillä standardeilla.	Ilmalämpötila-anturit eivät välttämättä kuvaa tarkkaa kuljetuslämpötilaa, etenkin jos ovenavauksia tapahtuu usein.
Seurattavan osaston jatkuva lämpötilamonitorointi, josta raportoidaan kuljettajalle reaaliaikaisesti.	Vaatii laitteen toimittajan suorittaman asennuksen.
Mahdollisuus tuotekohtaisiin antureihin, jolloin saadaan tarkempaa lämpötilatietoa mahdollisista oven avaamisista (useita pysähtymiä kuljetuksen aikana) huolimatta.	
Useita vaihdettavia lämpötila-antureita, joissa vaihtoehtoina lämpötilahälytys-, sulatus-, jäähdytysvika- ja ovenavausanturointi.	
Käyttäjän mahdollisuus valita tallennusväli, esim. 5-30 minuuttia.	
Mahdollisuus reaaliaikaiseen seurantaan kuljetusauton ohjaamossa.	
Lämpötilahistorian tallennus	
Integroitu lämpötulostin	
Useita kielivaihtoehtoja	
Voidaan integroida Internet-pohjaiseen kuljetusten etäseurantaan, mukaan lukien SMS-hälytykset ja langaton tiedonhaku.	

6 Opinnäytetyön tarkoitus ja tutkimusongelmat

Tämä opinnäytetyö oli kaksiosainen tutkimus, jossa perehdyttiin punasoluvalmisteiden lämpötilamuutoksiin erilaisissa ulkoisissa lämpötiloissa sekä laadittiin ohjeistus Helsingin kaupungin kolmelle kotisairaallalle verivalmisteiden tilaamista ja käsittelyä varten.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli seurata Meilahden sairaalan verikeskuksesta Herttoniemen, Laakson ja Malmin kotisairaaloihin lähteviä punasoluvalmistekuljetuksia ja valmisteiden käsittelyä kotisairaaloissa ennen siirtoa potilaaseen. Näin saatiin selville valmisteiden kuljetuksissa käytetyt menetelmät logistiikkaketjun eri vaiheissa. Sen pohjalta raportoitiin valmisteiden kuljetusten ja käsittelyn nykytilanne, sekä laadittiin kotisairaaloille yhtenäinen ohjeistus punasoluvalmisteiden tilaamista, säilytystä ja käsittelyä varten.

HUSLAB oli laatinut aiemmin yleisiä ohjeistuksia verivalmisteiden tilaamista ja käsittelyä varten, mutta Meilahden verikeskuksessa haluttiin selvittää, kuinka hyvin ohjeistusta noudatetaan kotisairaaloissa ja mitä valmisteille tapahtuu niiden saavuttua kotisairaalaan. HUSLAB halusi opinnäytetyössä myös selvittää, minkälaista lisäohjeistusta kotisairaalat tarvitsevat verivalmisteiden käsittelyssä. HUSLAB halusi opinnäytetyössä seurattavan valmisteiden kuljetusta Meilahdesta Herttoniemen, Laakson ja Malmin kotisairaaloihin. Seurannat tapahtuivat tammi-helmikuussa 2015. Herttoniemeen ja Laaksoon tehtiin kaksi seurantakäyntiä, yksi HUSLAB-kuljetuksen mukana ja yksi taksikuljetuksella. Malmille tehtiin yksi seurantakäynti HUSLAB-kuljetuksella.

Seurantojen ja havainnoinnin pohjalta HUSLABille raportoitiin kotisairaaloiden sen hetkiset käytännöt punasoluvalmisteiden käsittelyssä ja säilytyksessä. Havaintojen perusteella laadittiin kotisairaaloille uudet yhtenäiset ohjeet, joissa korostettiin oikeaa menetelytapaa verivalmisteiden käsittelyssä. Ohjeet pyrittiin laatimaan mahdollisimman selkeästi, jottei jäisi epäselvyyksiä tai mahdollisuuksia väärille tulkinnoille.

Kotisairaaloiden ohjeistuksen tueksi toteutettiin yhdessä Veripalvelun kanssa lämpötilamittauksia, joissa punasoluvalmisteita ja suolaliuospusseja altistettiin erilaisille lämpötilaolosuhteille niiden reagoinnin selvittämiseksi. Lämpimissä ja kylmissä ääriolosuhde-mittauksissa valmisteet pakattiin HUSLABin käyttämän menetelmän mukaisesti styrokseen kuljetuslaukkuun neljän kylmäelementin väliin. Lämpimän olosuhteen mittauksessa testattiin myös Veripalvelun käyttämää pakkausmenetelmää HUSLABin menetelmän rinnalla.

7 Opinnäytetyön toteutus ja tulokset

Opinnäytetyö toteutettiin yhdessä kahden eri tahon kanssa. HUSLAB tarvitsi seurantaan Meilahden verikeskuksesta Helsingin kotisairaaloihin lähtevistä verivalmistekuljetuksista. HUSLAB oli laatinut yleisen ohjeistuksen miten verivalmisteiden tilauksessa ja käsittelyssä tulee menetellä, mutta verikeskuksessa haluttiin selvittää, kuinka toiminta kotisairaaloissa tapahtui käytännössä. Veripalvelussa tehtiin lämpötilamittauksia, joissa tutkittiin, kuinka punasoluvalmisteiden lämpötila muuttuu eri olosuhteissa. Veripalvelu oli myös kiinnostunut, kuinka verivalmisteiden käsittely tapahtuu HUSLABissa ja kotisairaaloissa.

7.1 Verivalmistekuljetusten ja -säilytyksen havainnointi

Osana opinnäytetyön toteutusta oli seurata Meilahden verikeskuksesta Helsingin kotisairaaloihin Herttoniemeen, Laaksoon ja Malmille lähteviä verivalmistekuljetuksia. Tarkoituksena oli selvittää kotisairaaloiden senhetkiset menetelmät valmisteiden säilytyksessä ja kuljetuksessa potilaan luokse. Verikeskus ilmoitti minulle puhelimitse tulevista kuljetuksista, yleensä samana päivänä tai aikaisista aamukuljetuksista edellisena iltana. Saavuin verikeskukseen noin 15 - 30 minuuttia ennen kuljetuksen lähtemistä, jolloin pystyin seuraamaan valmisteen pakkausta paikan päällä. Olin fyysisesti mukana verivalmisteen pakkaamisesta aina sen perille kotisairaalaan saapumiseen saakka.

7.1.1 Verivalmisteen pakkaaminen Meilahdessa ja kuljetus kotisairaaloihin

Verivalmisteita lähetettäessä Meilahden verikeskuksessa käytetään aina samaa pakkausmenetelmää. Styroksiseen kuljetuslaatikkoon pakataan neljä kylmävaraajaa, massoiltaan noin 700 grammaa, ja verivalmiste pakataan niiden väliin siten, että kaksi varaajaa on punasoluvalmisteen päällä ja kaksi alla. Kuljetuslaatikko ja kylmävaraajat on esitetty kuvissa 8 ja 9. Kuljetusten kesto vaihtelee vajaasta kymmenen minuutin taksimatkasta lähes kahden tunnin kuljetuksiin. Alle 60 minuutin kuljetuksiin ei lisätä lämpötilaseurainta, mutta yli tunnin kestäviin kuljetuksiin lisätään Elpron Libero Ti1 –lämpötilaloggeri.



Kuva 8. HUSLABin styroksinen verivalmisteiden kuljetuslaukku.



Kuva 9. HUSLABin kylmävaraaja.

Osa kuljetuksista tapahtui taksilla, jolloin taksi saapui suoraan verikeskuksen ovelle ja kuljettaja haki valmistepakkauksen sisältä. Taksissa valmiste säilytettiin auton matkustamossa. Perillä kotisairaalassa taksikuljettaja jättää verivalmistepakkauksen sairaalan neuvontaan.

Taksikuljetusten lisäksi verivalmisteita kuljetetaan kotisairaaloihin HUSLABin omalla kuljetuksella. HUSLABin kuljetuksia menee kotisairaaloihin useita kertoja päivässä, pääasiassa virka-aikoina, mutta myös viikonloppuisin. HUSLABin kuljetus on verivalmisteiden pääasiallinen kuljetusmenetelmä, mutta kiireellisissä tapauksissa käytetään taksia, sillä HUSLABin kuljetus kiertää reitillään useissa kohteissa, ja verivalmiste voi olla perillä kotisairaalassa vasta kahden tunnin kuluttua kuljetuksen lähtemisestä Meilahdesta. HUSLAB-kuljetuksia varten verivalmisteet pakataan verikeskuksessa ja viedään varastotilaan, josta HUSLAB-kuljettaja pakkaa ne autoonsa. HUSLABin kuljetukset tapahtuvat tarkoitukseen varatuilla pakettiautoilla, joiden varustelu vaihtelee hieman. Verivalmiste-laatikko säilytetään tavaratilassa kuljetuksen ajan. Toistaiseksi HUSLABin kuljetusautoissa ei ole lämpötilaseurantaa tavaratilassa, mutta sellaisen hankinta on suunnitteilla loppuvuodesta 2015. HUSLABin kuljetukset kotisairaaloihin kestävät parista kymmenestä minuutista lähes kahteen tuntiin. Perillä kotisairaalassa kuljettaja jättää verivalmistelähetyksen neuvontaan, paitsi Malmin sairaalassa kuljettaja vie kuljetuslaatikon neuvonnan läheisyydessä sijaitsevaan HUSLABin laboratorioon.

7.1.2 Vastaanotto ja säilytys kotisairaaloissa

Kotisairaala on potilaille, jotka eivät vaadi vuodeosastotasoista hoitoa, mutta joiden hoidoksi ei riitä pelkkä kotisairaanhoido. Kotisairaala antaa potilaalle mahdollisuuden asua omassa kodissa, mutta silti saada kliinistä hoitoa tilaansa. Kotisairaala on vaihtoehto sairaalahoidolle silloin, kun potilas haluaa sairastaa ja saada hoidon kotiin. Kotisairaalan potilaaksi tullaan lääkärin läheteellä ja kotisairaalan lääkäri päättää, onko potilas siinä kunnossa, että häntä voidaan turvallisesti hoitaa kotona. Tärkein tekijä on potilaan oma halu tulla hoidetuksi kotona. [37; 38.]

Kotisairaaloissa punasoluvalmisteiden säilytysmenetelmät vaihtelevat. Herttoniemessä punasoluvalmisteet ottaa vastaan sairaalan neuvonta, josta vahtimestari purkamatta HUSLABin kuljetuslaukkua vie verivalmisteet samassa rakennuksessa sijaitsevaan kotisairaalaan. Kotisairaalan henkilökunta tarkistaa kuljetuksen onnistumisen Libero Ti1

-loggerista ja purkaa pakkauksen jääkaappiin. Herttoniemen kotisairaалassa verensiirtovalmisteet säilytetään lukitussa jääkaapissa, jossa on irrallinen Libero Ti1 –lämpötilaloggeri seuraamassa jääkaappilämpötilaa. Punasoluvalmisteita säilytetään kotisairaalan jääkaapissa potilaskiertoon saakka, toisinaan jopa vuorokauden ajan. Potilaskierrolle lähdettäessä verivalmiste siirretään kangaskassiin, jossa ei ole kylmävaraajia tai lämpötilaseurantaa. Verensiirtopotilaan luokse pyritään menemään potilaskierron alkupuolella, jotta verivalmisteen säilyvyys ei vaarannu.

Laakson kotisairaалassa punasoluvalmisteet vastaanottaa sairaalan neuvonta, josta vahvistamiseksi ilmoittaa puhelimitse kotisairaalaan veren saapumisesta. Kotisairaalan henkilökunta hakee verivalmistepakkauksen neuvonnasta. Kotisairaala sijaitsee neuvonnan kanssa samassa rakennuksessa. Laakson kotisairaalan tiloissa ei ole jääkaappia veren säilytystä varten, vaan punasolupussit säilytetään HUSLABin kuljetuslaatikossa aina siihen saakka, kun sairaanhoitaja saapuu siirtopotilaan kotiin. Verensiirtopotilaan luokse mennään potilaskierrolla ensimmäisenä.

Uudistetussa Malmin sairaалassa verivalmisteet säilytetään HUSLABin tiloissa, jossa on verensiirtotuotteille varattu lämpötilamonitoitu jääkaappi. Kun verivalmiste saapuu Malmin sairaalaan, HUSLABin henkilökunta tarkistaa pakkauksen ja siirtää valmisteen jääkaappiin, jonka ylä- ja alatasoilla olevia lämpömittareita seurataan vuorokausittain. Kotisairaalan henkilökunta käy potilaskierrolle lähtiessään hakemassa verensiirtoon tarvittavan verivalmisteen HUSLABin jääkaapista. Kuljetus potilaan luokse tapahtuu laatikkomaisessa kuljetuspakissa, jossa ei ole kylmävaraajia tai lämpötilaseurantaa. Verensiirtopotilaan luokse pyritään menemään potilaskierron alkupuolella, jotta verivalmisteen säilyvyys ei vaarannu, mutta Malmin kotisairaalan laajasta hoitoalueesta johtuen tätä ei voida aina taata.

Uuden HUSLAB-ohjeistuksen mukaan kaikkien kotisairaaloitten tulee vastedes tilata verivalmisteet vasta välittömään siirtoon. Valmisteita säilytetään kotisairaaloissa HUSLABin styroksisissa kuljetuslaatikoissa, niitä ei tule purkaa muihin säilytystiloihin. Ainoastaan Malmin sairaалassa, jossa on HUSLABin oma laboratorio, laboratoriohenkilökunta purkaa kuljetuslaatikon lämpötilamonitoituun verivalmistejääkaappiin. Malmin laboratoriohenkilökunta pakkaa ja antaa verivalmisteet kotisairaalan henkilökunnalle vasta välittömään verensiirtoon. Kaikissa kotisairaaloissa verivalmisteet kuljetetaan potilaan luokse aina HUSLABin kuljetuslaukussa. Verensiirtopotilaan luokse tulee aina mennä

potilaskierron alussa, jottei verivalmiste ehdi lämmetä matkan aikana liikaa ja valmisteiden laatu vaarantua.

7.2 Tutkimus Veripalvelussa

Veripalvelussa tutkittiin punasoluvalmisteiden reagoimista erilaisiin ulkoisiin lämpötiloihin. Ensimmäisessä tutkimuksessa seurattiin lämpenemistä huoneenlämmössä, toisessa lämpenemistä lämpimässä olosuhteessa ja kolmannessa viilenemistä kovissa pakkasolosuhteissa.

7.2.1 Mittaaminen huoneenlämmössä

Ensimmäisessä mittauksessa haluttiin selvittää, miten nopeasti punasoluvalmistepussit lämpenevät jääkaapista huoneenlämpöön otettaessa. Mittaus suoritettiin metallisella alustalla. Käytössä oli yhteensä neljä testipussia, joista kahdessa oli punasoluja ja kahdessa suolaliuosta. Testipussien massat olivat 312 - 314 grammaa. Mittausta edeltävänä yönä veri- ja suolaliuospussit olivat olleet Veripalvelun jääkaapissa, jonka lämpötila oli n. +3,5 °C. Huoneenlämpö oli n. +23 °C koko mittauksen ajan.

Mittauksessa käytettiin t-typin termoelementtejä, jotka asetettiin testipussien sisään mahdollisimman keskelle liuosta. Termoelementti mittaa kahden metallin välille syntyvää jännitettä, joka on verrannollinen anturissa olevan liitoskohdan ja mittarin päässä olevan liitoskohdan lämpötilaeroon. T-typissä metalleina ovat kupari ja konstantaani, ja sen mittausalue on -210 °C - +400 °C jopa 0,2 °C:n tarkkuudella [39]. Erillinen anturi seurasi myös huoneenlämmön vaihtelua. Kahden testipussin pinnalle asetettiin DeltaTRAKin Tempdot-tarraindikaattorit, jotka Veripalvelu oli tilannut koekäyttöön. Tempdot on kertakäyttöinen indikaattori, joka reagoi nousevaan lämpötilaan tarrassa olevan näyttimen pysyvällä värinmuutoksella. Se seuraa kumulatiivista aikamäärää, jolla indikaattori on ylittänyt kynnyslämpötilansa [40]. Tempdot-indikaattori on esitetty eri aktivointivaiheissa kuvassa 10. Tässä mittauksessa käytettiin indikaattoria, joka reagoi yli +10 °C lämpötilaan, sillä punasoluvalmisteiden kuljetuslämpötila saa olla enintään +10 °C.

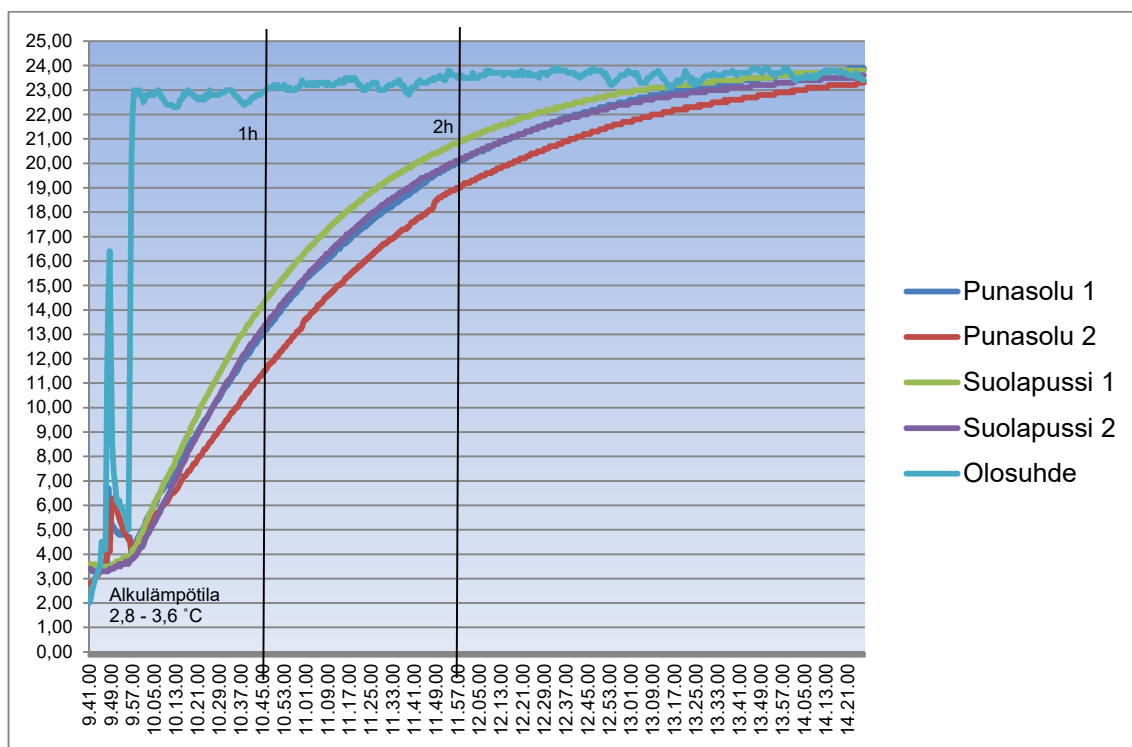


Kuva 10. Tempdot-tarraindikaattorit. Vasemmalla aktivoimaton indikaattori 0-tilassa. Keskellä aktivoitu indikaattori, joka on ollut huoneenlämmössä lähes neljä tuntia. Oikealla indikaattori on ollut kahdeksan tuntia huoneenlämmössä.

Melkein välittömästi huoneenlämpöön ottamisen jälkeen pussien pintalämpötila oli jo +8 °C, mutta pussien sisäiset anturit näyttivät vielä n. +4,5 °C. Toinen Tempdot-tarraindikaattoreista oli testipussiin muodostuneen ilmakuplan kohdalla, jolloin pussin pinta lämpeni huomattavasti nopeammin. Tempdotin värinmuutos osoittikin lämpenemisen tapahtuvan pikaisemmin.

Punasoluvalmisteiden kuljetuslämpötila ei saa ylittää +10 °C. Huoneenlämmössä ensimmäinen suolaliuospussi saavutti +10 °C:n 40 minuutin kuluttua huoneenlämpöön ottamisesta. Viimeinenkin punasoluvalmiste lämpeni +10 °C -asteeseen vajaassa tunnissa.

Verensiirto-ohjeistuksen mukaan punasolut tulee siirtää potilaaseen kuuden tunnin kuluessa valmisteen huoneenlämpöön ottamisesta. Tunnin huoneenlämmössä olon jälkeen punasoluvalmisteita ei saa enää siirtää takaisin jääkaappiin. Tunnin kuluttua mittauksen aloittamisesta testipussien sisälämpötila oli +11 °C - +14 °C. Pussien sisälämpötila saavutti huoneenlämmön noin neljässä tunnissa. Testipussien lämpeneminen on esitetty kaaviona kuvassa 11.



Kuva 11. Testipussien lämpeneminen huoneenlämmössä.

7.2.2 Mittaaminen lämpimissä olosuhteissa

Toisen mittauksen tarkoitus oli tutkia, kuinka hyvin kylmäpakatut testipussit säilyttivät kylmävarauksen ulkoisen lämpötilan ollessa +30 °C. Käytössä oli kaksi punasoluvalmistepussia ja kaksi suolaliuospussia. Punasolupussit pakattiin Veripalvelun käyttämään styroksiseen kuljetuslaatikkoon, jossa oli myös kaksi 2,8 kg:n kylmävaraajaa, yksi punasolujen alla ja yksi päällä. Yhteensä kylmävaraajien massa oli 5,6 kg. Varaajia oli säilytetty Veripalvelun jääkaapissa +3,5 °C ennen mittauksen aloittamista. Veripalvelun kuljetuslaatikko ja kylmävaraajat on esitetty kuvissa 12 ja 13.

Suolaliuospussit pakattiin HUSLABin styroksiseen kuljetuslaatikkoon, jossa oli kaksi kylmävaraajaa testipussien alla ja kaksi päällä. Kylmävaraajien massa oli noin 700 grammaa, eli yhteensä 2,800 kg, mikä on puolet Veripalvelun varaajien massasta. HUSLABin kylmävaraajia oli säilytetty noin 17 tuntia jääkaapissa, jonka lämpötila oli +5 °C. Ennen mittauksen aloittamista varaajia kuljetettiin vajaan tunnin ajan HUSLABin styroksisessa kuljetuslaatikossa, jolloin niiden lämpötila ehti jo nousta Veripalvelun varaajia korkeammaksi. Tämä osittain selittää mittaustulosten erilaisuuden.



Kuva 12. Veripalvelun käyttämä styroksinen kuljetuslaatikko.

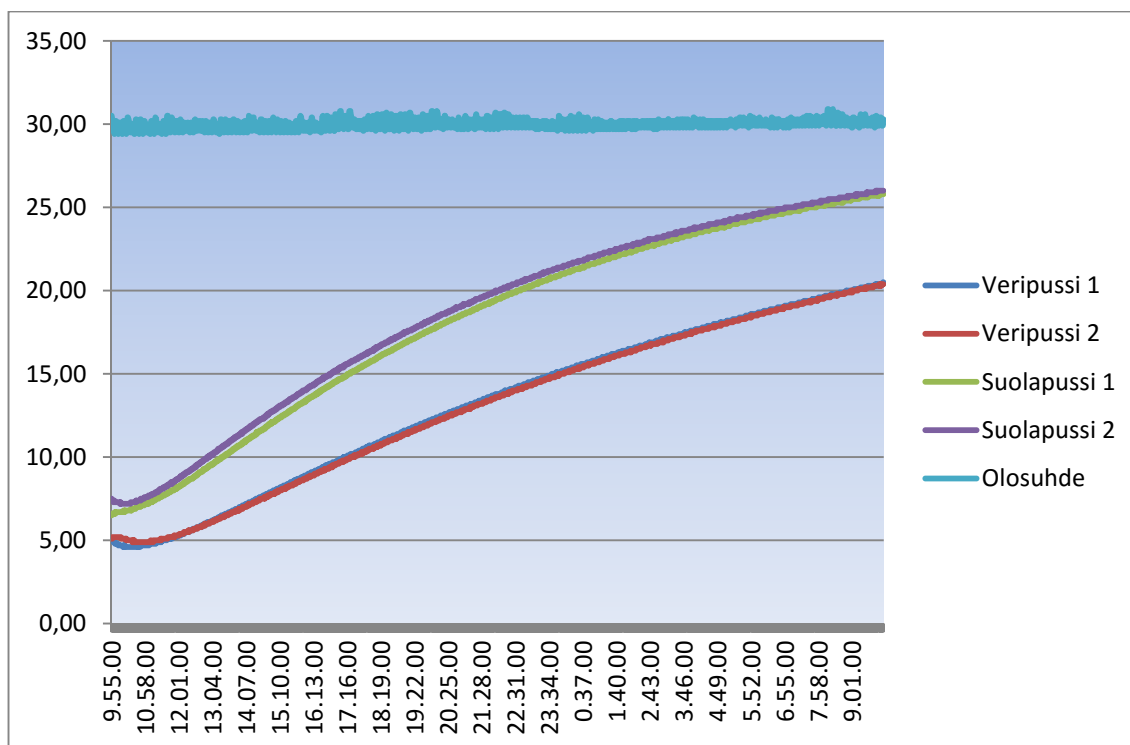


Kuva 13. Veripalvelun kylmäelementti.

Mittausta aloitettaessa punasolupussien lämpötila oli +5 °C ja suolaliuos pussien n. +7 °C. Punasoluvalmisteiden kuljetuslämpötilan tulee olla 0 °C - +10 °C. Suolaliuos pussit ylittivät +10 °C rajan noin kolme tuntia mittauksen aloittamisesta. Veripusseilla 10 °C raja saavutettiin 4,5 tuntia myöhemmin, eli 7,5 tuntia mittauksen aloittamisesta. HUSLABin

verikuljetukset kestävät normaalisti alle kaksi tuntia, joten kuljetusajat ovat huomattavasti lyhempiä kuin Veripalvelulla.

24 tunnin kuluttua mittauksen aloittamisesta suolaliuospussien (HUSLABin varaajat) lämpötila oli +26 °C ja punasolupussien (Veripalvelun varaajat) +20 °C. Testipussien lämpeneminen on esitetty kaaviona kuvassa 14.



Kuva 14. Testipussien lämpeneminen lämpimissä olosuhteissa.

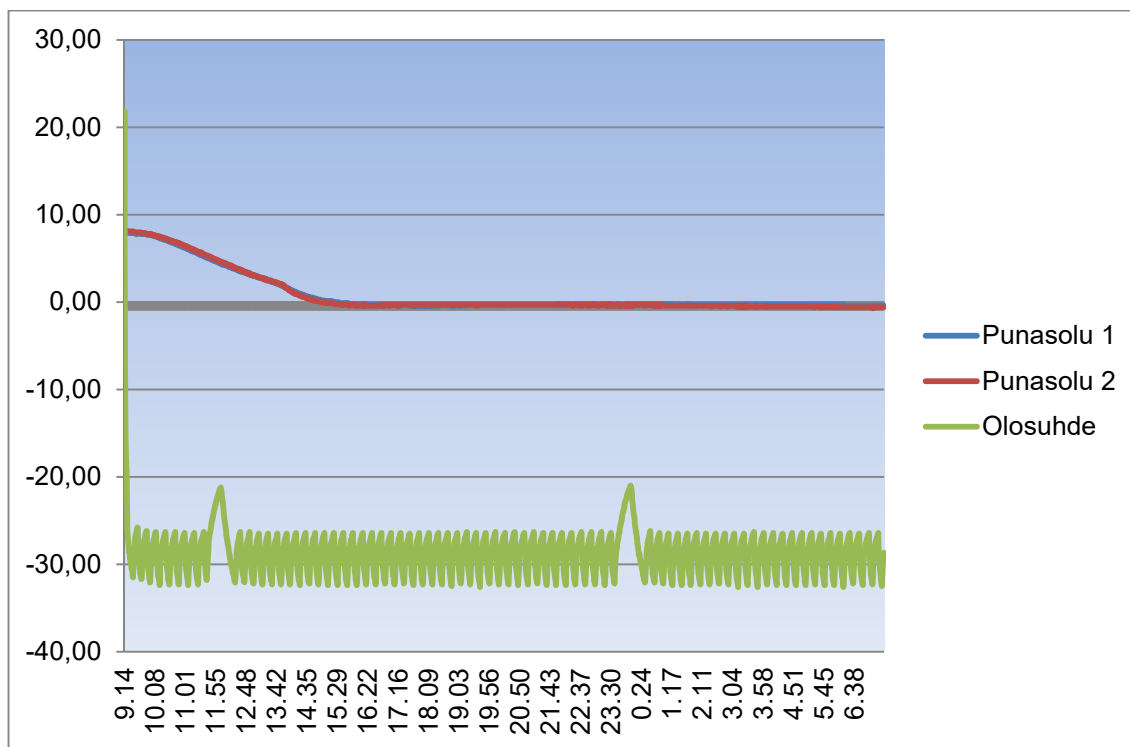
7.2.3 Mittaaminen pakkasolosuhteissa

Kolmannen mittauksen tarkoituksena oli selvittää, miten kuljetuslaatikkoihin pakatut verivalmisteet kylmenevät ulkoisen lämpötilan ollessa -30 °C. Mittaus toteutettiin Veripalvelun tiloissa.

Mittauksessa käytetyt suolaliuospussit pakattiin HUSLABin styroksiseen kuljetuslaatikkoon, jossa oli kaksi kylmävaraajaa testipussien alla ja kaksi päällä. Kylmävaraajien massa oli n. 700 grammaa, eli yhteensä 2800 grammaa. HUSLABin kylmävaraajia oli

ennen mittausta säilytetty yön yli jääkaapissa, jonka lämpötila oli $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ennen mittauksen aloittamista varaajia kuljetettiin vajaan tunnin verran HUSLABin styroksisessa kuljetuslaatikossa. Kylmägeelien lämpötila Veripalveluun saavuttaessa oli $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$-30\text{ }^{\circ}\text{C}$:een siirrettäessä pakkauksen lämpötila alkaa laskea tasaisesti ja saavuttaa $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:n kuuden tunnin kuluttua mittauksen aloittamisesta. Sen jälkeen pakkaus säilyttää lämpötilan tasaisena, sillä kylmävaraajageelien olosuhdemuutoslämpötila on $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Geeli pyrkii vastustamaan olosuhdemuutosta ja tämän vuoksi pysyy $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:n tuntumassa niin kauan, kunnes kylmäkapasiteetti loppuu. Näin ollen kylmävaraajien välissä olevat punasolut pysyvät myös $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa, eivätkä jäädy ulkoisesta pakkasesta huolimatta. Valmistaiden jäähtyminen on esitetty kaaviona kuvassa 15. Punasolujen kuljetuslämpötilan tulee olla $0\text{ }^{\circ}\text{C} - +10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pakkasolosuhdemittaus toteutettiin vain HUSLABin kuljetuslaatikolla. HUSLABin kuljetukset kestävät pääsääntöisesti alle kaksi tuntia.



Kuva 15. Testipussien kylmeneminen pakkasolosuhteissa. Puolen yön ja -päivän piikit olosuhdelämpötilassa johtuvat pakastimen automaattisesta sulatuksesta.

8 Johtopäätökset

Punasoluvalmisteiden säilytys- ja kuljetuslämpötilat ovat yksi merkittävimpiä tekijöitä valmisteiden laadun takaamisessa. Liian korkea tai matala lämpötila vahingoittaa punasoluja, mikä voi johtaa vakaviin, jopa kuolemaan johtaviin verensiirtokomplikaatioihin.

HUSLABin pyytämän seurannan pohjalta opinnäytetyön tuloksena saatiin vastaus kysymykseen punasoluvalmisteiden senhetkisistä kuljetus- ja käsittelymenetelmistä Herttoniemen, Laakson ja Malmin kotisairaaloissa. HUSLAB oli entuudestaan laatinut ohjeistuksia verivalmisteiden kuljetusta ja käsittelyä varten, mutta opinnäytetyöllä haluttiin tarkistaa, kuinka hyvin ohjeiden noudattaminen toteutui kotisairaaloissa. Fyysisellä seurannalla ja havainnoinnilla saatiin selville tarvittavat tiedot, joiden pohjalta analysoitiin tarvittavat kehityskohteet uusia ohjeita varten. Kotisairaaloissa löytyi kehityskohteita sekä verivalmisteiden säilyttämisessä että kuljettamisessa potilaan luokse. Tulokset raportoitiin HUSLABiin, Meilahden verikeskukseen. HUSLABin pyynnön mukaisesti kotisairaaloille laadittiin verivalmisteiden tilausta ja käsittelyä varten yhtenäinen ohjeistus, jossa korostettiin oikeita toimintatapoja. HUSLABin opinnäytetyölle asettamiin kysymyksiin saatiin seurannan aikana selkeyttävä vastaus. HUSLAB ei antanut lupaa ohjeistuksen julkaisemiselle opinnäytetyön yhteydessä.

Veripalvelussa tehdyissä tutkimuksissa testattiin verivalmisteiden reagoitua erilaisiin ulkoisiin lämpötiloihin. Tutkimukset toimivat taustatietona analysoitaessa HUSLABin kuljetuksia ja niissä käytettyjä pakkausmenetelmiä. HUSLABin kuljetukset ovat lyhyitä, joten käytetyt pakkausmenetelmät ovat riittäviä turvaamaan verivalmisteiden oikean kuljetuslämpötilan. Kotisairaaloille laadituissa uusissa ohjeissa korostetaan valmisteiden kuljetamista kotisairaalaan potilaan luokse HUSLABin styroksisessa kuljetuslaatikossa, jolloin myös tässä logistiikkaketjun viimeisessä vaiheessa noudatetaan turvallista ja hyväksi havaittua kuljetusmenetelmää.

HUSLABissa on tulossa organisaatiomuutoksia, jotka vaikuttavat lähitulevaisuudessa myös kotisairaaloiden verivalmistekuljetuksiin. Muutosten merkittävyys ei ole vielä tiedossa. Jos kuljetusmatkat pitenevät, joudutaan arvioimaan uudelleen verivalmisteiden pakkausmenetelmien riittävyyttä oikean kuljetuslämpötilan turvaamiseksi. HUSLAB suunnittelee lisäävänsä kuljetusautojen tavaratilaan lämpötilaseurannan, jolloin kuljetuslämpötilaa voidaan seurata reaaliajassa ja lämpötilamuutoksiin voidaan reagoida välittömästi.

mästi. Libero Ti1 –loggeria käytetään nykyisellään vain yli tunnin kestävässä kuljetuksessa, ja sen tallentamat tiedot saadaan vasta kuljetuksen päätyttyä, jolloin valmisteen mahdollinen vaarantuminen on jo tapahtunut eikä tilanteeseen enää voida puuttua. Lisäksi kotisairaaloiden kiiretilanteista riippuen verivalmistepakkauksen purkaminen voi viivästyä, ja alle tunnin mittaiseksi suunniteltu kuljetusaika kestääkin kauemmin, jolloin pakkauksessa olisi hyödyllistä olla lämpötilaseuranta valmisteiden säilyvyyden seuraamiseksi. Myös reaaliaikainen kuljetusauton lämpötilaseuranta vähentäisi verituotteiden hävikkiä, koska lämpötilamuutoksiin voitaisiin reagoida viipymättä.

Tämänhetkiset lämpötilaloggerit ovat tarkkuudeltaan riittäviä seuraamaan verivalmisteiden lämpötiloja. Tulevaisuudessa lämpötilaseurantateknologian kehittyessä kuljetuksessa voidaan siirtyä reaaliaikaiseen lämpötilamonitorointiin, ja tarvittaessa tuotekohtaiseen seurantaan. Tuotekehityksen myötä kalliit teknologiset ratkaisut tulevat edullisemmiksi ja siten helpommaksi hankkia. WHO:n suositusten mukaan teknologisesti parhaimpia ratkaisuja olisivat monitorit, joista lämpötilaseurannan lisäksi saataisiin tapahtuma-kohtaisia raportteja esim. oven avauksista ja jäähdytyskiirroksista.

Opinnäytetyön aikana seurattiin viittä verivalmistekuljetusta ja valmisteiden vastaanottoa kotisairaaloissa. Mm. liikennetilanteesta johtuen kuljetusaikojen pituus voi vaihdella. Taksikuljetuksia seurattiin aamun ruuhka-aikoina ja HUSLAB-kuljetuksia ruuhka-aikojen ulkopuolella. HUSLABin kuljetukset ovat aikataulutettuja, joten suuria vaihteluita kuljetusten pituuksissa ei ole. Verivalmistekuljetusten havainnoinnin voidaan olettaa olevan luotettava. Havainnoinnissa on pyritty ottamaan huomioon kuljetuslämpötilaan vaikuttavat seikat, kuten valmisteiden pakkaaminen ja säilytyspaikka kuljetuksen aikana.

Valmisteiden vastaanotto kotisairaaloissa riippuu kotisairaaloiden kiiretilanteesta. Kuljetuksiin, joiden oletetaan kestävän alle tunnin, ei lisätä Libero Ti1-lämpötilaseuranta. Havainnoinnin aikana huomattiin, että toisinaan kuljetuspakkauksen purkaminen kotisairaaloissa viivästyy, jolloin punasoluvalmisteen säilytysaika ilman lämpötilaseuranta on oletettua pidempi ja joudutaan arvioimaan, olisiko lyhyeksi suunnitelluillekin verivalmistekuljetuksille lisättävä lämpötilaseuranta. Vaikka tällainen tapahtuma olisi poikkeus, oli hyvä että poikkeama tuli esiin seurantojen aikana. Havainto viiveestä kuljetuspakkauksen purkamisessa antoi HUSLABille syyn miettiä kuljetuslämpötilaseurannan lisäämistä myös lyhyille kuljetusmatkoille.

Veripalvelussa kukin tutkimus suoritettiin vain kerran, joten tulosten toistettavuutta ei ole testattu. Tulokset ovat kuitenkin yhdenmukaisia odotettujen tulosten kanssa, jolloin niiden voidaan olettaa olevan luotettavia. Laajemmassa tutkimuksessa mittaukset olisi hyvä toistaa, mutta tässä opinnäytetyössä sitä ei nähty tarpeelliseksi.

9 Yhteenveto

Opinnäytetyössä tutustuttiin vereen, verensiirtovalmisteisiin ja niiden vaatimiin kuljetus- ja säilytysolosuhteisiin. Veri on osa ihmisen tukikudosta, ja sillä on monia elintärkeitä tehtäviä elimistössämme. Se osallistuu hapen ja ravinteiden kuljetukseen soluille sekä hiilidioksidin kuljetukseen pois soluista.

Verensiirto voidaan joutua tekemään esim. kirurgisen toimenpiteen yhteydessä, verenvuototilanteessa tai vakavassa anemiassa. Suomen Punaisen Ristin Veripalvelu tuottaa ja varastoi verivalmisteita, joita sairaaloiden verikeskukset tilaavat ja varastoivat hoitoyksiköiden verensiirtotarpeita varten. Verikeskuksessa tehdään verensiirtoihin liittyvät laboratoriotutkimukset, joissa määritetään potilaan veriryhmä ja tutkitaan siirrettävän valmisteeseen sopivuus potilaalle. Hoitoyksikön tulisi mahdollisuuksien mukaan valmistautua verensiirtoon ajoissa, jotta laboratoriotutkimukset voidaan tehdä hyvissä ajoin.

Yksi verensiirtojen turvallisuuden suurimmista riskitekijöistä on verivalmisteiden optimaalisen lämpötilan ylläpito kuljetusten aikana. Verivalmisteiden kuljetuksen tulee aina tapahtua olosuhteissa, joilla taataan tuotteen säilyvyys. Kuljetuslämpötilan tulee olla 0 °C - +10 °C, eikä kuljetusaika saa ylittää 24 tuntia. Näiden lämpötilarajojen ylittäminen tai alittaminen voi vahingoittaa punasoluja ja johtaa komplikaatioihin verensiirrossa. Suomessa verivalmisteiden kuljetuksissa ovat käytössä langattomat lämpötilaseurantaloggerit, paitsi HUSLABin alle tunnin kestävässä kuljetuksissa.

Verivalmisteiden käsittelyn jälkeisessä varastoinnissa punasoluvalmisteiden säilytyslämpötilan tulee olla +2 °C - +6 °C. Valmisteet tulee säilyttää vain punasoluille varatussa säilytystilassa, jossa on jatkuva lämpötilaseuranta sekä optinen ja akustinen hälytys-signaali. Punasolut säilyvät +2 °C - +6 °C:n lämpötilassa 28 vuorokaudesta 49 vuorokauden keräämisestä, riippuen käsittelystä ja käytetystä ravintoaineliuoksesta. Punasolujen siirto potilaaseen tulee saattaa loppuun kuuden tunnin kuluessa valmisteiden ottamisesta huoneenlämpöön. Tunnin huoneenlämmössä säilytyksen jälkeen punasoluja ei saa

enää siirtää takaisin kylmäsäilytykseen, vaan jos verensiirtoa ei tapahdu, ne on hävitettävä.

Tämä opinnäytetyö oli kaksiosainen tutkimus, joista ensimmäinen osa toteutettiin yhteistyössä Veripalvelun ja toinen HUSLABin kanssa. Veripalvelussa verivalmisteita altistettiin erilaisille ulkoisille lämpötiloille, jotta saatiin selville pakkausmenetelmien toimivuus ja valmisteiden lämpenemis- ja jäähtymisnopeudet sekä -ajat. Ensimmäisessä tutkimuksessa seurattiin lämpenemistä huoneenlämmössä, toisessa lämpenemistä lämpimissä olosuhteissa ja kolmannessa viilenemistä kovissa pakkasolosuhteissa. Ääriolosuhdemittauksissa valmisteet pakattiin HUSLABin käyttämän menetelmän mukaan styroksiseen kuljetuslaatikkoon neljän kylmävaraajan väliin. HUSLABin kotisairaalakuljetukset kestävät alle kaksi tuntia, johon heidän pakkausmenetelmänsä on sopiva. Lisäksi yli tunnin kestäviin kuljetuksiin HUSLAB lisää lämpötilaseurannan, josta kuljetuksen aikaiset lämpötilat voidaan purkaa vastaanottopäässä.

HUSLABin tehtävänantona opinnäytetyölle oli fyysisesti seurata Meilahden verikeskuksesta Helsingin kaupungin kolmeen kotisairaalaan lähteviä verivalmistekuljetuksia, sekä valmisteiden käsittelyä kotisairaalassa ennen verensiirtoa. HUSLABilla oli yleinen ohjeistus valmisteiden käsittelyä varten, mutta Meilahden verikeskuksessa haluttiin selvittää, toteutuuko käsittely ohjeistetulla tavalla. Fyysisen seurannan ja raportoinnin perusteella voitiin todeta valmisteiden käsittelyn nykytila kotisairaaloissa sekä tarkennusta vaativat kohdat. Seurannan pohjalta laadittiin kotisairaaloille uusi yhtenäinen ohjeistus, jossa tuotiin selkeästi ja yksiselitteisesti esille vaadittavat käsittelytavat. HUSLAB hyödyntää ohjeistusta kotisairaaloiden informoinnissa. Ohjeet julkaistaan opinnäytetyön yhteydessä laaditussa muodossa Malmin kotisairaalalle. HUSLABissa on tulossa organisaatiomuutoksia, jotka aiheuttavat muutoksia Herttoniemen ja Laakson kotisairaaloiden toimintaan ja verituotekuljetuksiin. Turvatakseen verivalmisteiden laadun HUSLAB ottaa toiminnan uudistuessa huomioon havainnoinnin aikana ilmenneet puutteet nykyisissä toimintatavoissa.

Lähteet

- 1 World Health Organization. 2015. 10 facts on blood transfusion. Verkkosivut. <http://www.who.int/features/factfiles/blood_transfusion/en/>. Luettu 1.11.2015.
- 2 World Health Organization. 2005. Manual on the management, maintenance, and use of blood cold chain equipment. Verkkodokumentti. <http://www.who.int/blood-safety/Manual_on_Management,Maintenance_and_Use_of_Blood_Cold_Chain_Equipment.pdf>. Luettu 1.11.2015.
- 3 Tortora, Derrickson. 2007. Principles of Anatomy and Physiology. s.666-689. 11th edition. Wiley International Edition.
- 4 Wikipedia. 2015. Kantasolu. Verkkosivut. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Kantasolu>>. Päivitetty 3.2.2015. Luettu 7.11.2015.
- 5 Hoffman, Benz et al. 2005. Hematology, Basic Principles and Practice. 4th edition. Elsevier Inc.
- 6 Klein, Anstee. 2005. Blood Transfusion in Clinical Medicine. Mollison's Eleventh Edition. Blackwell Publishing.
- 7 The medical biochemistry page. 1996-2014. Hemoglobin. Verkkosivut. <<http://themedicalbiochemistrypage.org/hemoglobin-myoglobin.php>>. Luettu 7.11.2015.
- 8 A level chemistry. Haemoglobin and ligand substitution. Verkkosivut. <<http://www.chemhume.co.uk/A2CHEM/Unit%20b/11%20Transition%20elements/Ch11TransitionEc.htm>>. Luettu 7.11.2015.
- 9 Suomen Kuntaliitto. 1996. Sairaalan verensiirtotutkimukset. 1.painos.
- 10 Terveyskirjasto. 2015. Lääketieteen sanasto: Immunogeeninen. Verkkosivut. <http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=ltt01300>. Luettu 7.11.2015.
- 11 Reid, Lomas-Francis, Olsson. 2012. The blood group antigen factsbook. 3rd Edition. Academic Press.
- 12 Suomen Punainen Risti, Veripalvelu. 2013. Verivalmisteiden käytön opas 2013.
- 13 HUSLAB tutkimusohjekirja. 2015. Verkkosivut. <<http://huslab.fi/ohjekirja/>>. Päivitetty 19.11.2015. Luettu 19.11.2015.
- 14 Helsingin kaupunki. Terveyskeskus: Lääkehoitosuunnitelma 19.2.2008, päivitys Kausa 09.10.2012 (versio 6)

- 15 FIMEA. Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskuksen määräys 10.12.2013. Veripalvelutoiminta. 6/2013.
- 16 Suomen Punainen Risti, Veripalvelu. 2014. Mikä on Veripalvelu? Verkkosivut. <<http://www.veripalvelu.fi/www/21>>. Päivitetty 27.1.2015. Luettu 7.11.2015.
- 17 Terveyskirjasto. 2015. Veren aineosat. Verkkosivusto. <http://www.terveyskirjasto.fi/terveysportti/tk.koti?p_artikkeli=snk02011>. Luettu 7.11.2015.
- 18 European Committee (Partial Agreement) on Blood Transfusion, CD-P-TS. 2013. Guide to the Preparation, Use and Quality Assurance of Blood Components. 17th edition. Council of Europe.
- 19 Prosessikehityksen asiantuntija Ville Ristimäki, Veripalvelu. Sähköpostikeskustelu 4.11.2015.
- 20 Google Play. Taxi Navi. 2015. Verkkosivut. <<https://play.google.com/store/apps/details?id=ait.com.taxinavi>>. Päivitetty 16.5.2014. Luettu 7.11.2015.
- 21 Car Leasing Network. 2012-2015. Verkkosivut. <<https://www.carleasingnetwork.co.uk/Citroen-Relay-Contract-Hire-and-Van-Leasing.html>>. Luettu 7.11.2015.
- 22 Anna Pohjanen. Verensiirto-ohjeistus Kuopion yliopistollisen sairaalan hoitoyksiköille. Opinnäytetyö. 11.4.2012. Verkojulkaisu. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/43365/Anna_Pohjanen.pdf?sequence=1>. Luettu 7.11.2015.
- 23 Wikipedia. 2015. Closed System. Verkkosivut. <https://en.wikipedia.org/wiki/Closed_system>. Päivitetty 5.10.2015. Luettu 7.11.2015.
- 24 Solunetti. 2006. Sentrifugointi. Verkkosivut. <<http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/sentrifugointi/>>. Luettu 7.11.2015.
- 25 Teopal. 2012. Näytteen sentrifugointi. Verkkosivut. <http://www.teopal.fi/nayte_sentrifugointi.php>. Luettu 7.11.2015.
- 26 Sigma-Aldrich. 2015. Centrifugation Basics. Verkkosivut. <<http://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/biofiles/centrifugation-basics.html>>. Luettu 7.11.2015.
- 27 Canadian Blood Services. 2013. Clinical guide to transfusion medicine. Verkojulkaisu. <http://www.transfusionmedicine.ca/sites/transfusionmedicine/files/articles/CGTTChapter2_MAR2013_FINAL.pdf>. Luettu 7.11.2015.

- 28 WHO Technical Report Series. January 2014. Temperature and humidity monitoring systems for transport operations. Verkkojulkaisu. <http://www.who.int/me-dicines/areas/quality_safety/quality_assurance/TS-temp-control-transport-final-sign-off-a.pdf>. Luettu 7.11.2015.
- 29 Sensire TempNet-lämpötilaseurantajärjestelmä. 28.4.2014. PowerPoint-esitys. Ville Ristimäki. Veripalvelu.
- 30 Elpro. Libero Ti1. Verkkojulkaisu. <http://www.elpro.com/uploads/tx_elproproducts/TecSpec_LIBERO_Ti1-S_web_02.pdf>. Luettu 7.11.2015.
- 31 Suvanto, Kari. 2010. Tekniikan fysiikka 1. s. 404. 1.-4. painos.
- 32 Wikipedia. 2015. NTC. Verkkosivut. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Thermistor#NTC>>. Päivitetty 27.8.2015. Luettu 7.11.2015.
- 33 Bluethermo. 2014. Verkkosivut. <<http://www.bluethermo.co.uk/wordpress/product/elpro-libero-ti1-s-2/>>. Luettu 7.11.2015.
- 34 Enfucell. 2013. Verkkosivut. <<http://www.enfucell.com/uutiset.html?10>>. Päivitetty 4.2.2015. Luettu 7.11.2015.
- 35 WHO Technical Report Series. August 2014. Temperature and humidity monitoring systems for transport operations. Verkkojulkaisu. <http://www.who.int/biologicals/expert_committee/Supplement-15-TS-temp-control-transport-final-ECSP-ECBSb.pdf>. Luettu 19.11.2015.
- 36 Berlinger. Q-tag® CLm doc. Verkkosivut. <<http://www.berlinger.com/temperature-monitoring/products-hardware/productdetail/product/show/Produkt/q-tagR-clm-doc/>>. Luettu 10.11.2015.
- 37 Mari Aronen. Eettinen perusta Rauman kaupungin kotisairaalaissa. Opinnäytetyö. 2013. Verkkojulkaisu. <<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/60778/aronen.mari.pdf?sequence=1>>. Luettu 7.11.2015.
- 38 Akuutti. 2000. Kotisairaala. Verkkosivut. <http://yle.fi/vintti/yle.fi/akuutti/ar-kisto2000/121200_b.html>. Luettu 7.11.2015.
- 39 Pietiko Oy. Termoelementtianturit ja vastusanturit. Verkkosivut. <<http://www.pietiko.fi/tuotteet/mittariyhma/luettelo/termoelementtianturit-ja-vastusanturit>>. Luettu 11.11.2015.
- 40 Deltatrak. Tempdot Plus Time-Temperature Indicator Label. Verkkosivut. <<http://www.deltatrak.com/tempdot-plus-indicator-label>>. Luettu 7.11.2015.

- 41 Parade. Can a blood transfusion affect your personality? Verkkosivut. <<http://parade.com/52304/marilynvossavant/can-a-blood-transfusion-affect-your-personality/>>. Luettu 7.11.2015.